

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE  
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## TECHNOLOGIE VÝROBY POUZDRA ZPOŽĎOVAČE

TECHNOLOGY OF PRODUCTION CASE OF DELAY

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. Martin JANOŠEK

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. Karel OSIČKA, Ph.D.

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství  
Ústav strojírenské technologie  
Akademický rok: 2011/12

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

student(ka): Bc. Martin Janošek  
který/která studuje v **magisterském studijním programu**  
obor: **Strojírenská technologie (2303T002)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

### **Technologie výroby pouzdra zpoždovače**

v anglickém jazyce:

### **Technology of production case of delay**

Stručná charakteristika problematiky úkolu

Řešení technologie výroby součásti pouzdro zpoždovače pro sériovou výrobu v podmínkách firmy střední velikosti.

Cíle diplomové práce:

Úvod.

Rozbor možností konvenčního obrábění.

Rozbor technologičnosti konstrukce.

Řešení technologie výroby součástky pouzdro zpoždovače.

Kompletní technologická příprava výroby.

Technicko-ekonomické hodnocení.

Závěr.

Seznam odborné literatury:

AB SANDVIK COROMANT – SANDVIK CZ, s.r.o. Příručka obrábění – Kniha pro praktiky. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia, 1997. Přel. z: Modern Metal Cutting – A Practical Handbook. ISBN 91-97 22 99-4-6.

KOCMAN, Karel a Jaroslav PROKOP. Technologie obrábění. 1. vydání Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2001. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.

FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vydání Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

ŠTULPA, Miroslav. CNC obráběcí stroje. 2. dotisk, 1. vydání. Praha: BEN – technická literatura, 2008. 128 s. ISBN 978-80-7300-207-7.

SVOBODA, Emil. Technologie a programování CNC strojů. 1. vydání Havlíčkův Brod: FRAGMENT, 1998. 278 s.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Karel Osička, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/12

V Brně dne 21.11.2011

LS

.....  
prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.

Ředitel ústavu

.....  
prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.

Děkan

## ABSTRAKT

V práci je po úvodní teoretické části, která rozebírá problematiku výbušin a rozbušek, řešena technologie výroby součástky pouzdra zpoždovače. Nejprve je rozebrána technologičnost konstrukce, na jejímž základu se určí polotovar a materiál, ze kterého má být součástka vyrobena. Následuje shrnutí možností výroby součástky. Výstupem práce pak jsou kompletní výrobní postupy pouzder zpoždovačů všech stupňů rozbušek a výběr stroje dle technicko-ekonomických hledisek.

### Klíčová slova

Zpoždovač, rozbuška, soustružení, výrobní postup, stroj.

## ABSTRACT

In this master's thesis is after first part, which is study explosions and detonators work, solutions to technology of production case of delay. First is anatomize technology of construction where is solve the form of stock and material from which the case of delay should be produce. Next capitole is about the ways of production of this part. The output of the thesis is complete production processes at all levels of detonators and selection of machine according to technical and economical aspects.

### Key words

Case of delay, detonator, turning, production process, machine.

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

JANOŠEK, Martin. *Technologie výroby pouzdra zpoždovače*. Brno 2012. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 56 s. 7 příloh. Vedoucí práce Ing Karel Osička, Ph.D.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Technologie výroby pouzdra zpožd'ovače** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

---

Datum

---

Bc. Martin Janošek

**PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji tímto Ing. Karlu Osičkovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce.

## OBSAH

ABSTRAKT .....	4
PROHLÁŠENÍ.....	5
PODĚKOVÁNÍ .....	6
OBSAH.....	7
ÚVOD .....	9
1 Teoretický úvod .....	10
1.1 Definice pojmů .....	10
1.2 Rozněcovadla .....	11
1.2.1 Zápalnice .....	11
1.2.2 Bleskovice .....	12
1.2.3 Zážehová rozbuška .....	12
1.2.4 Elektrický palník .....	13
1.2.5 Elektrická rozbuška .....	14
1.2.6 Zkoušky elektrických rozněcovadel .....	16
1.3 Rozbuška .....	17
1.3.1 Konstrukční řešení civilních elektrických rozbušek .....	17
1.3.2 Funkce elektrické rozbušky .....	18
1.3.3 Elektrická pilule .....	18
1.3.4 Dutinka .....	19
1.4 Zpoždovač .....	19
1.4.1 Zpožďovací složce .....	20
2 Rozbor možností konvenčního obrábění .....	20
2.1 Obrábění .....	20
2.2 Soustružení .....	21
2.2.1 Nástroje .....	21
2.2.2 Soustruhy .....	22
3 Technologičnost konstrukce .....	24
3.1 Technologičnost konstrukce pouzdra zpoždovače .....	24
3.2 Volba materiálu.....	25
3.3 Volba polotovaru .....	25
3.3.1 Výpočet počtu kusů z kilogramu polotovaru .....	26
3.3.2 Výpočet navýšení strojního času vrtáním .....	28
3.4 Výpočet řezné síly a výkonu při vrtání .....	30
3.5 Shrnutí technologičnosti konstrukce.....	33

4	Řešení technologie výroby součástky pouzdro zpoždovače .....	33
4.1	Technologie výroby odléváním .....	33
4.2	Technologie výroby protlačováním .....	33
4.3	Technologie výroby soustružením na revolverovém soustruhu .....	34
4.4	Technologie výroby soustružením na stroji Mikron NAM-8 CNC .....	34
4.5	Technologie výroby soustružením na stroji Pfiffner HYDROMAT HW 25/12 .....	35
4.6	Technologie výroby soustružením na stroji Wolf TSM 280 .....	36
5	Kompletní technologická příprava výroby .....	38
5.1	Řezné podmínky jednotlivých operací .....	38
5.1.1	Řezné podmínky při vrtání .....	38
5.1.2	Řezné podmínky pro soustružení vnějšího sražení .....	38
5.1.3	Řezné podmínky pro soustružení čela .....	39
5.1.4	Řezné podmínky pro dělení materiálu .....	40
5.1.5	Řezné podmínky pro navrtání středicích důlků .....	40
5.2	Úprava řezných podmínek .....	40
5.2.1	Úprava řezných podmínek při soustružení .....	41
5.2.2	Úprava řezných podmínek pro řezání .....	43
5.2.3	Úprava řezných podmínek pro navrtávání .....	44
5.2.4	Úprava řezných podmínek pro vrtání vnitřního sražení .....	45
5.3	Výrobní postup .....	46
6	Technicko-ekonomické hodnocení .....	49
7	Diskuze .....	50
	ZÁVĚR .....	51
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....	52
	Seznam použitých symbolů a zkratk .....	54
	SEZNAM PŘÍLOH .....	56



## ÚVOD

Práce se zabývá vhodnou volbou technologie výroby součástky pouzdro zpoždovače. Tématem však není pouze technologie samotná, ale na začátku se také zabývá funkcí zpoždovače jako takového. Ať už se jedná o kategorizaci výbušin či vyjmenování a popis funkce iniciátorů výbušin jako takových, vždy jde o tematiku, která není, mimo vojenské útvary, plně běžná, a nejedná se o nijak všeobecně známé informace. Tomuto tématu je věnována celá první kapitola.

Výstupem ale je rozebrání možností výroby této součástky a určení nejlepší výrobní technologie pro výrobu pouzdra zpoždovače. V rámci optimální technologičnosti konstrukce je také třeba zvolit polotovar či formu materiálu, ze kterého bude součástka vyrobena, vždy je volena optimální možnost s ohledem na velkou vyráběnou sérii. Mimo určení optimální technologie výroby je také důležité zvolit správný stroj, na kterém se tato technologie bude provádět, což je druhý výstup práce. Při volbě stroje je třeba nejen přihlídnout ke skutečnosti, že lze daný výrobek na stroji vyrobit, ale je třeba také zohlednit produktivitu práce na daném stroji a v neposlední řadě také ekonomickou stránku.

Tato práce řeší konkrétní situaci ve spolupráci s firmou Austin Detonator s.r.o. Tato firma se v odvětví rozbušek pohybuje již od roku 1953. Jedná se o součást korporace Austin Powder Company, která sídlí v USA ve státu Ohio. V České republice působí od roku 1999 s výrobou ve Vsetíně. Firma se zabývá nejen výrobou elektrických rozbušek, ale také například rozbušek neelektrických či elektronických, pilulí, palníků a různých pomůcek pro trhací práce.

## 1 TEORETICKÝ ÚVOD

Tento úvod je věnován problematice rozbušek a všemu, co k rozbuškám patří.

### 1.1 Definice pojmů<sup>1, 2, 3</sup>

**Výbuch:** Jedná se o fyzikální nebo fyzikálně chemický děj vedoucí k náhlému uvolnění energie. V podstatě jde o velmi rychlé hoření výbušniny. Probíhá buď ve formě výbuchového hoření, nebo detonace.

**Výbuchové hoření:** Také explozivní hoření. Druh chemického výbuchu, při kterém je výbuchová rychlost menší, než je rychlost zvuku ve zplodinách vzniklých tímto hořením. Rozpojovací účinek je způsoben tlakem povýbuchových zplodin a je posuvný, deflagrační, s velkými kusy rozpojovaného materiálu.

**Detonace:** Druh chemického výbuchu, při kterém je výbuchová rychlost větší než rychlost zvuku ve zplodinách vzniklých tímto hořením. K rozpojování dochází tlakem zplodin a dynamickým rázem a vznikají při něm drobné kusy rozpojovaného materiálu. Tímto způsobem vybuchuje převážná většina průmyslových trhavin.

**Výbušiny:** Látky schopné chemického výbuchu.

**Přímé výbušiny:** K výbuchové přeměně jim stačí pouze jednoduché podněty jako tření, náraz, nápich, plamen apod. Patří sem třaskaviny a střeliviny.

**Nepřímé výbušiny:** K výbuchové přeměně je zapotřebí většího množství energie, zpravidla výbuchem přímé výbušiny.

**Střeliviny:** Tyto látky mají schopnost vyvolávat hoření plyny o vysokém tlaku a teplotě. Patří sem střelné prachy a pohonné hmoty.

**Třaskaviny:** Tyto přímé výbušiny lze k výbuchu přivést i velmi malým podnětem a jsou schopny velmi rychle přejít od výbuchového hoření k detonaci. Všechny třaskaviny jsou silně endotermické a většinou tvoří primární náplň rozbušek. Patří sem například třaskavá rtuť, azid olovnatý nebo tetrazen.

**Trhaviny:** hlavním typem výbušné přeměny tohoto typu výbušin je detonace. Ke spuštění detonace je zapotřebí silnější podnět, jako je detonace jiné výbušiny. Mezi trhaviny patří například pentlit, tritol nebo nitroglycerin.

**Brizance:** Je schopnost výbušniny rozdrtit materiál ve svém okolí. Významně ovlivňuje kusovitost rozpojovaného tělesa.

**Detonační rychlost:** Jedná se o rychlost šíření detonace výbušiny.

**Detonační tlak:** Je to tlak v čele detonační vlny.

**Iniciace:** Jedná se o počáteční podnět, který vyvolá výbuch.

**Výbuchové teplo:** Teplo, které vzniká při výbuchu.

**Výbuchová teplota:** Teplota zplodin, která vzniká při adiabatické výbušné přeměně výbušiny.

**Zážeh:** Podnět, který vyvolává výbuchové hoření.

**Pyrotechnická slož:** Mechanická směs, která se používá pro pyrotechnické účely.

## 1.2 Rozněcovadla <sup>1,2</sup>

Rozněcovadla jsou prostředky, které slouží k roznětu trhavin či výbušných předmětů. Rozněcovadla se rozdělují do následujících skupin:

### Základní rozněcovadla:

Slouží k přímému roznětu výbušnin. Základní rozněcovadla se dále dělí na zápalky, roznětky, rozbušky a elektrické pilule. Zápalky slouží k zážehu střelivin nebo prachů a jejich nejčastější využití je v nábojnicích. Můžeme je rozdělovat na mechanické a elektrické. Roznětky slouží k roznětu rozbušek a využívají se pouze v zapalovačích nebo rozněcovačích. Roznětky dělíme na nápichové, třecí a tlakové neboli pneumatické. Rozbušky, které jsou určeny k iniciaci trhavin, dělíme na zážehové, nápichové, elektrické, tlakové a nárazové. Elektrické pilule slouží obecně k elektrickému roznětu a dělí se na můstkové a spárové.

### Pomocná rozněcovadla:

Slouží jako prostředky, kterými se přenáší zážeh nebo výbuch. Také se dají využívat pro zážeh základního rozněcovadla. Dělíme je na stopiny, zápalnice, elektrické palníky a bleskovice. Stopiny slouží čistě jen k přenosu plamene podobně jako zápalnice. Rozdíl v nich je v tom že přenos plamene zápalnicí lze načasovat. Elektrické palníky se dělí na mžikové a časové a jsou to prostředky k zážehu zápalnic, zážehových rozbušek a pyrotechnických složí. Bleskovice se rozlišují podle druhu náplně (nejčastěji pentrit) a slouží k přenosu detonace.

### 1.2.1 Zápalnice <sup>1,2</sup>

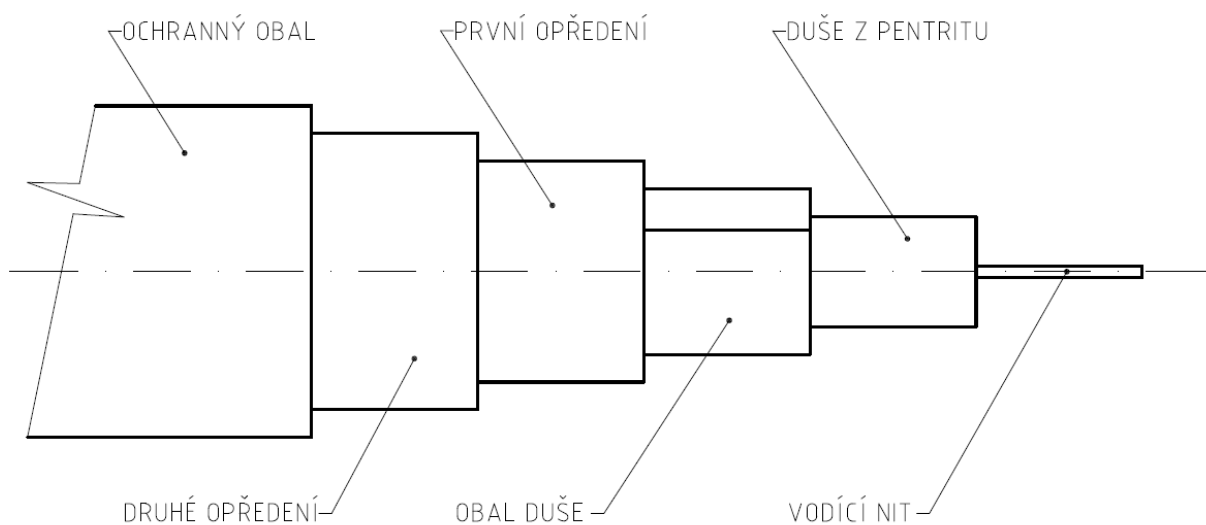
Zápalnice (obr. 1) má za úkol získat určitý časový interval od okamžiku jejího zážehu až do okamžiku detonace rozbušky. Zápalnice jsou tedy výhradně určeny k roznětu rozbušek. Jejich použití je v rozmezí teplot  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$  až  $35\text{ }^{\circ}\text{C}$  a skládá se z duše a obalu. Duše je tvořena černým zápalnicovým prachem a ukryvá v sobě vodící nit. Obal slouží především jako ochrana proti vlhkosti. Nejčastěji se využívá obal z PVC (Bickfordova zápalnice). Také musí mít hladký povrch a kruhový průřez. Zápalnice má průměr přibližně 5,2 mm a je dostupná ve svtcích o délce 10 m bez přerušení. Hmotnost prachové náplně musí být nejméně  $4,5\text{ g}\cdot\text{m}^{-1}$  a doba hoření jednoho metru zápalnice na vzduchu je  $125\pm 15\text{ s}$ . Aby byla zápalnice plně funkční, musí plamen při výšlehu z jejího konce zažehnout 1 g černého prachu ve vzdálenosti 3 cm od konce. Zápalnice je používána výhradně na povrchových pracovištích a ničí se spalováním.



Obr. 1 Zápalnice <sup>17</sup>

### 1.2.2 Bleskovice<sup>1,2</sup>

Bleskovice (obr. 2) se používá k přímému přenosu detonace z jednoho místa na vzdálené druhé místo. Buď se jedná o přenos detonace na velkou vzdálenost, nebo přenos na několik náloží, zapojených do jednoho vedení. Na rozdíl od zápalnic obsahují bleskovice náplň brizantní trhaviny. Svým způsobem se jedná o mnohonásobně prodlouženou sekundární náplň rozbušky a umožňuje tak přenášet účinek rozbušky na velké vzdálenosti v nepřetržitém sledu. V některých případech se může bleskovice použít i k iniciaci trhavin. Hlavní dvě části bleskovice jsou stejně jak u zápalnice obal a duše. Duši tvoří brizantní trhavina a obal opět slouží jako ochrana duše proti vlhkosti, povětrnostním vlivům a mechanickému opotřebení.



Obr. 2 Schéma bleskovice<sup>18</sup>

Bleskovice detonuje a k detonaci se přivádí buď rozbuškou, nebo jinou bleskovicí. Z toho vyplývá, že k roznětu se musí použít nějaké rozněcovadlo s iniciační schopností. U nás nejčastěji používané bleskovice mají označení NP a jejich duše je z pentritolu (směs pentritu a tritolu 90/10). Vnější obal je vyroben z PVC. Další používané druhy bleskovic jsou například dvoubleskovice 2 NPV, která je tvořena dvěma bleskovicemi NPV ve společném obalu. To má za důsledek zvýšení bezpečnosti a jistoty roznětu, a proto se využívá pro hlavní bleskovicovou větev. Bleskovice NPVI se používá za zvýšené teploty či tlaku. Pro tváření výbuchem se využívá bleskovice NPVII. Všechny bleskovice se ničí výhradně výbuchem.

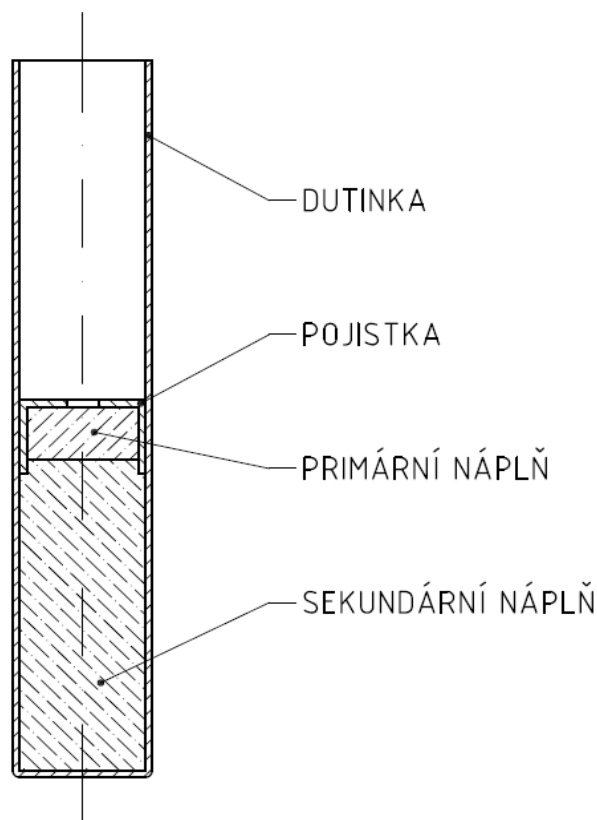
#### Příklad charakteristiky bleskovice NPVII určené pro tváření výbuchem:

Hmotnost náplně 1 metru bleskovice musí být minimálně 24,5 g. Maximální vnější průměr bleskovice NPVII je 7,5 mm a její odolnost vůči tlaku je minimálně 30 MPa po dobu 2 hodin. Dále bleskovice musí splňovat podmínku, že po dobu 2 hodin musí odolat teplotě 120 °C. Další kritéria, která musí tato bleskovice splňovat, je odolnost vůči vodě po dobu 24 hodin, minimální detonační rychlost  $6000 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  a přenos detonace při přiložení v délce 10 cm.

### 1.2.3 Zážehová rozbuška<sup>1,2</sup>

Zážehová rozbuška (obr. 3) je základním rozněcovadlem určeným k vyvolání detonace trhavin a bleskovic. Skládá se z dutinky, primární a sekundární náplně a z pojistky. Při použití rozbušky na povrchu nebo na pracovišti bez nebezpečí výbuchu prachu nebo výbušných

plynů se používá dutinka vyrobená z hliníku. V opačném případě musí být dutinka měděná. V dutince je nalisovaná primární náplň z třaskaviny a také sekundární náplň z trhaviny. Jako primární náplň se běžně používá třaskavá rtuť a azid stříbrný nebo azid olovnatý a styfnát olovnatý v případě rozbušky s měděnou dutinkou. U sekundární náplně se používá nejčastěji pentritol. Maximální manipulační bezpečnosti se dosahuje pomocí pojistky, která je umístěna nad nalisovanými náplněmi. Pojistka je opatřena středovým otvorem a zabráňuje uvolnění náplně rozbušky. Zážehové rozbušky jsou nejstarší z rozněcovadel, jsou to předchůdci rozbušek elektrických. K iniciaci této rozbušky postačí šleh plamene ze zápalnice.

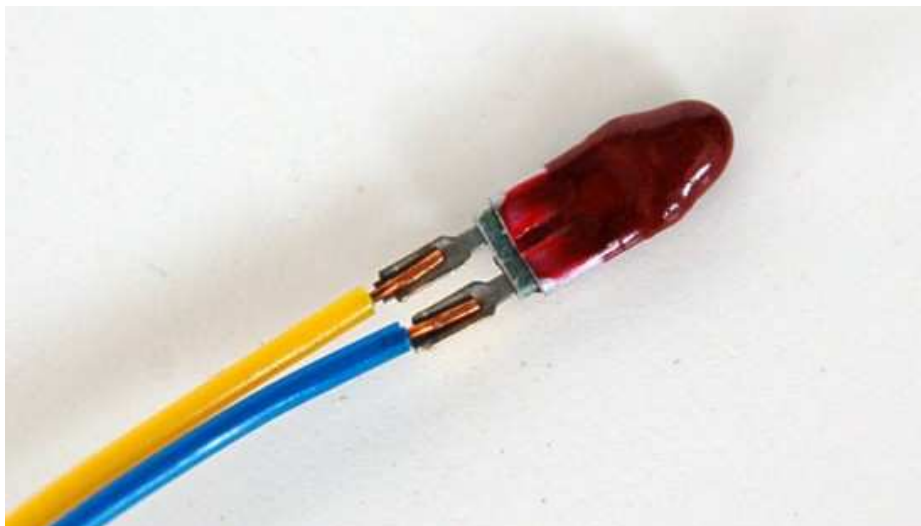


Obr. 3 Schéma zážehové rozbušky<sup>18</sup>

#### 1.2.4 Elektrický palník<sup>1,2</sup>

Jedná se o pomocná rozněcovadla, která se používají k roznětu rozbušek, zápalnic a pyrotechnických složí. Podle konstrukce pilule se dají elektrické palníky (obr. 4) rozdělit na můstkové a spárové. U můstkového se využívá nažhavení odporového drátu napjatého mezi dvěma kontakty. Tento drát je zalisován ve výbušné složi. Spárový elektrický palník se dále dá rozdělit na jiskrový, u něhož přeskakuje jiskra mezi dvěma kontakty, a na zárový, u něhož dochází k průchodu proudu částečně vodivou výbušnou složi. Podle funkce můžeme elektrické palníky rozdělit na mžikové, kdy tyto palníky účinkují téměř okamžitě po zavedení elektrického proudu, a na palníky časované, kdy tyto palníky účinkují až po určitém zpoždění po zavedení proudu, které je dáno délkou a kvalitou zápalnice, která je pevně zavedena do tělesa palníku. Podle odporu můstkového vodiče v piluli palníku a hodnot trvalého bezpečného proudu (resp. zážehového impulsu) dělíme palníky na nízko odolné (NO), středně odolné (SO) a vysoce odolné (VO). Hodnota odporu můstku klesá s rostoucí odolností a zároveň se zvyšuje hodnota elektrické energie potřebné pro spuštění palníku. To má za

důsledek ochranu proti nežádoucímu předčasnému spuštění vyvolanému cizí elektrickou energií. Tato nežádoucí energie se může vyskytovat například v blízkosti vysílačů, může mít také charakter bludného proudu, vysokofrekvenčního proudu či výboje statické a atmosférické elektřiny.



Obr. 4 Elektrický palník <sup>19</sup>

#### 1.2.5 Elektrická rozbuška <sup>1,2</sup>

Jedná se o spojení elektrického palníku a zážehové rozbušky v jeden nerozebíratelný celek. Podle činnosti dělíme elektrické rozbušky (obr. 5) na mžikové, časované a délečasované. U mžikových elektrických rozbušek dochází k výbuchu rozbušky takřka v okamžiku, kdy je do ní vpuštěn elektrický proud. Odchylku mezi časem sepnutí a výbuchem tvoří tzv. reakční čas. Tyto rozbušky mají označení 0. Časovaným elektrickým rozbuškám se také říká rozbušky milisekundové. U těchto rozbušek tvoří interval mezi jednotlivými stupni maximálně 100 ms. U délečasovaných rozbušek je tento interval větší než 100 ms. Nedílnou součástí všech časovaných rozbušek je zpoždovač a délka zpoždění je přímo úměrná délce pouzdra zpoždovače.

Sady rozbušek jsou u nás podle časování rozděleny do těchto skupin:

**DeM-** Průměrná doba mezi výbuchy rozbušek po sobě následujících stupňů je 23 ms. Sada obsahuje mžikovou rozbušku označovanou 0 a následně až 21 dalších časových stupňů,

**DeM-30-** průměrná doba zpoždění je 30 ms mezi jednotlivými jejími stupni,

**DeR-** průměrná doba zpoždění je mezi jednotlivými stupni až do stupně 4 40 ms, u následujících stupňů je doba zpoždění 80 ms. Sada obsahuje rozbušku mžikovou a dalších 10 časových stupňů,

**DeD-** nazývají se čtvrtsekundové. Průměrná doba zpoždění mezi jednotlivými stupni je 250 ms a v sadě je mimo rozbušku mžikovou dalších 12 časovaných stupňů,

**DeP-** nazývají se půlsekundové. Jejich průměrný interval zpoždění je 500 ms mezi jednotlivými stupni. Sada obsahuje rozbušku mžikovou a dalších 12 časovaných stupňů.

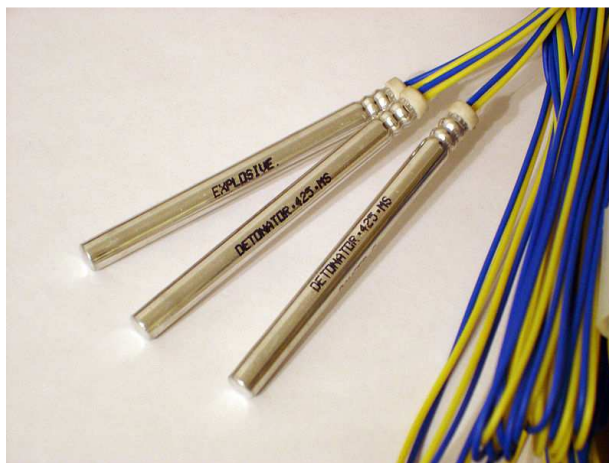
Každá elektrická rozbuška je osazena palníkem. Podle elektrických vlastností můstku palníku se rozbušky rozdělují do tří skupin:

**NO-** Rozbušky s nízkou odolností- označují se také jako standardní. Trvalý bezpečný elektrický proud těchto rozbušek je menší než 0,18 A. Běžně používat tyto rozbušky není povoleno,

**SO-** rozbušky se střední odolností- jejich bezpečná roznětná energie je oproti předešlé skupině zvýšena. Trvalý bezpečný elektrický proud těchto rozbušek je nižší než 0,4 A,

**VO-** rozbušky s vysokou odolností- odolávají všem prakticky se vyskytujícím vlivům elektrického náboje a indukovaným proudům. Trvalý bezpečný elektrický proud těchto rozbušek jsou až 4,0 A.

Trvalý bezpečný elektrický proud je definován jako maximální elektrický proud, který může rozbuškou procházet po libovolně dlouhou dobu, aniž by ji uvedl v činnost.



Obr. 5 Elektrická rozbuška<sup>20</sup>

Další parametry elektrických rozbušek jsou ty, že rozbuška musí prorazit otvor do olověné destičky o průměru minimálně 7 mm. Dále musí být mechanická pevnost soustavy 49 N po dobu 2 minut. S ohledem na manipulační bezpečnost musí rozbuška vydržet 60 rázů během 60 vteřin a také musí snést pád z výšky 150 mm. Jako materiál dutinky se musí použít buď měď, nebo hliník. Průměr dutinky je 7,1 mm a její délka se pohybuje v rozmezí 50 mm až 100 mm. Přívodní vodiče musí být izolované (nejčastěji PVC) a standardně mají délku 2,3 nebo 4 m, nestandardně až 20 m. Pokud se jedná o drát železný, musí mít průměr minimálně 0,6 mm, u drátu měděného stačí i průměr 0,5 mm.

Do kategorie elektrických rozbušek speciálních patří rozbušky, které mají vlastnosti nutné k použití na speciálních pracovištích nebo při speciálních trhacích pracích. Jejich rozdělení je následující:

**Elektrické rozbušky DeM-zb.** Tyto rozbušky zajišťují vysokou bezpečnost proti možnosti zážehu směsi metanu se vzduchem nebo uhelného prachu. Používají se především při těžbě uhlí. Sada obsahuje rozbušku mžikovou a dalších 16 časovaných stupňů.

**Elektrické rozbušky RVT.** Tyto rozbušky bezpečně odolávají vyšším tlakům vodního sloupce a jsou schopny snést tlakovou vodu do 0,6 MPa. Používají se u podvodních náloží.

**Elektrické rozbušky DeM-ROT.** Jsou používány při trhací práci za zvýšené teploty. Odolávají teplotám až +100 °C po dobu 3 hodin.



**Elektrické rozbušky TSR.** Tyto rozbušky jsou mžikové a termostabilní. Jsou určeny pro perforační (průrazné) trhací práce do teploty +211 °C.

**Elektrické rozbušky ReT.** Tyto mžikové rozbušky se používají pro geofyzikální průzkum. Mají velmi malou reakční dobu vůči běžné mžikové rozbušce.

**Elektrické rozbušky NME.** Tyto rozbušky jsou odolné vůči hromadnému roznětu a to hlavně při manipulaci a přepravě rozbušek pohromadě. Tato vlastnost je zajištěna vhodnou úpravou pouzdra primární nálože a také speciálním střídavým skládáním do přepravních beden.

#### *1.2.6 Zkoušky elektrických rozněcovadel <sup>1</sup>*

- Zkouška zážehové schopnosti a současnosti roznětu,

Touto zkouškou se zjišťuje velikost stejnosměrného proudu, protékajícím rozněcovadlem po dobu 4 ms, který přivede rozněcovadlo k roznětu. Podstatou zkoušky tedy je ověření, zda během určitého časového intervalu dojde k iniciaci všech rozněcovadel stejného typu zapojených v sérii s danou hodnotou stejnosměrného proudu.

- stanovení elektrické pevnosti,

Zkouška zjišťuje hodnotu napětí, při kterém ještě nedojde k přeskočení jiskry mezi kontakty v piluli a tím k iniciaci celé roznětky.

- zkouška průrazem na olověné destičce,

Rozněcovadlo se umístí do přístroje tak, aby bylo ve vertikální poloze tak aby celá plocha čela dosedala na destičku. Rozněcovadlo s destičkou se umístí před ocelový blok s otvorem o průměru 30 mm tak, aby vše bylo v jedné ose. Následně se rozněcovadlo iniciuje předepsaným způsobem. Posuzuje se osový účinek výbuchu určitého typu rozněcovadla. Hodnotí se velikost otvoru v destičce.

- zkouška vodotěsnosti,

Rozněcovadlo se ponoří po určitou dobu do nádoby s vodou o předepsané výšce hladiny. Po vynoření se zkontroluje současnost roznětu a porovná se doba zpoždění s předepsanou hodnotou. Zkouška se také může provádět v tlakové nádobě.

- zkouška manipulační bezpečnosti,

Zjišťuje se odolnost proti mechanickému namáhání. Rozněcovadla se zkoušejí v natřásacím zařízení při 60 rázech za minutu a výšce pádu 15 mm. U rozněcovadla se kontroluje, zda u něj nedošlo k porušení sestavy a zda je jeho funkce správná.

- zkouška mechanické pevnosti sestavy,

Jedná se o zkoušku statickou, kdy se na přívodní vodiče připevní závaží a nechá se po určitou dobu na vodičích viset. Zkouška může mít i dynamický charakter. Pak se závaží připevněné na vodičích pouští z předepsané výšky. Při zkoušce nesmí dojít k iniciaci rozněcovadla.

- zkouška iniciační mohutnosti,

Zkouška se provádí v olověném bloku o rozměrech 200 x 250 mm, v němž je uprostřed otvor. Do tohoto otvoru se vloží rozněcovadlo spolu s tělískem TNT flegmatizovaným mastkem. Poté se otvor zasype pískem a provede se výbuch. Poté se měří výduť, která na bloku vznikne.



- zkouška odolnosti vůči statické elektřině,

Zkušební výboj se přivádí na rozněcovadlo třemi způsoby. Na dutinku a na spojené (zkratované) přívodní vodiče, na dutinku a na jeden přívodní vodič nebo na oba přívodní vodiče (místková hodnota). Přeskok náboje uvnitř rozněcovadla nesmí způsobit roznět při daném napětí a kapacitě.

- zkouška relativní bezpečnosti ve výbušném prostředí,

Touto zkouškou se kontrolují pouze rozbušky DeM-zb určené pro těžbu uhlí. Zkouška se provádí v kovové nádobě o objemu 10 m<sup>3</sup>, která se naplní metanem na koncentraci 7,5-9,5 % či předepsaným množstvím uhelného prachu. Poté se v nádobě iniciuje rozbuška a sleduje se, zda nedošlo k zapálení plynu. Aby byla zkouška úspěšná, může směs zapálit méně než 4 % zkoušených rozbušek.

- měření ohmického odporu elektrických rozněcovadel,
- zkouška odolnosti proti nejmenšímu proudu,
- zkouška zážehového impulsu,
- měření doby zpoždění elektrických rozněcovadel,
- zkouška odolnosti proti vyššímu tepelnému záření.

### 1.3 Rozbuška<sup>1,2</sup>

Hlavní rozdělení rozbušek je na zážehové, nápichové, elektrické a nárazové. V této kapitole bude popsána pouze rozbuška elektrická.

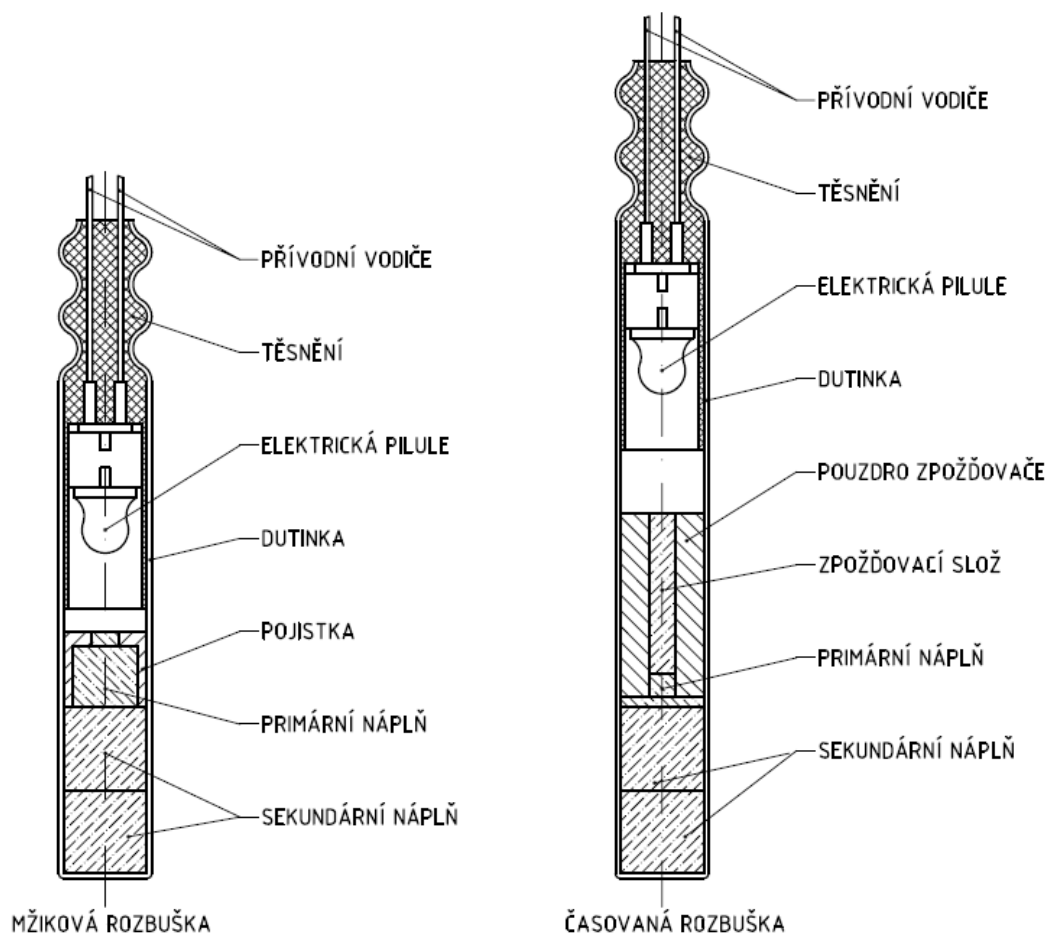
Elektrické rozbušky tvoří nerozebíratelný vodotěsný celek, který je připraven k použití bez pomocných operací. Vhodné použití elektrických rozbušek zaručuje odstřely za nejvýhodnějších podmínek, čímž se zvyšuje efektivnost i bezpečnost trhačích prací. K roznětu těchto rozbušek se používají roznětnice dynamoelektrické, kondenzátorové a bateriové nebo síťové. Elektrické rozbušky se uplatňují především v trhačích technice při dobývání surovin v oblasti báňského průmyslu, a to jak při povrchové, tak při důlní těžbě. Další využití je na inženýrských stavbách různých průmyslových odvětví.

#### 1.3.1 Konstrukční řešení civilních elektrických rozbušek<sup>1</sup>

Elektrická rozbuška časovaná (obr. 6) se skládá z přívodních vodičů, těsnění, elektrické pilule, dutinky, pouzdra zpoždovače, zpožďovací slož, primární náplně a sekundární náplně. Rozdíl v konstrukci rozbušky časované a mžikové (obr. 6) je v tom, že v mžikové rozbušce není pouzdro zpoždovače ani zpožďovací slož. Plastické těsnění, které je vyrobené z měkké gumy, zajišťuje vodotěsnost celé rozbušky. Prochází jím oba přívodní vodiče a těsnění je v dutince zalemováno. Na koncích přívodních vodičů je připájena elektrická pilule, která je na počátku celé iniciace rozbušky. Sekundární náplň je nalisována ve spodní části dutinky. Jedná se o trhavinu, nejčastěji pentlit. Nad sekundární náplní je nalisována náplň primární. Tato primární náplň je třaskavina.

U mžikových rozbušek je nad primární náplní nalisována pojistka, u rozbušek časovaných je nad primární náplní nalisováno pouzdro zpoždovače, ve kterém je zalisována zpožďovací směs. Celé lisování výbušin do dutinky rozbušky se provádí za železobetonovou stěnou nebo

pancířem, a to z důvodu nebezpečí výbuchu v průběhu lisování. Obzvláště při práci a manipulaci s třaskavinou se musí dbát nejvyšší opatrnosti.



Obr. 6 Schémata rozbušek <sup>1</sup>

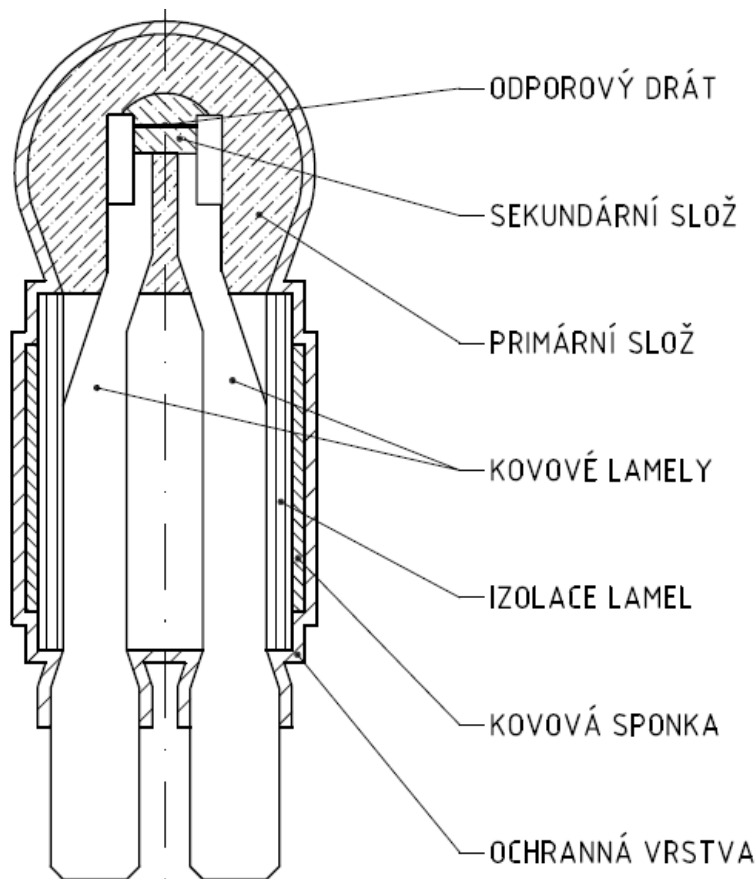
### 1.3.2 Funkce elektrické rozbušky <sup>1,2</sup>

Zavedením proudu do elektrické pilule přívodními vodiči se rozžhaví odporový drát, který svým tepelným impulsem roznítí primární slož elektrické pilule. Od této se pak zapálí slož sekundární a plamen pak iniciuje buď primární slož nalisovanou v pojistce, u mžikových rozbušek, nebo zapálí zpoždovací slož u rozbušek časovaných. Po uplynutí doby zpoždění, po úplném vyhoření zpoždovací směsi, se zapálí primární náplň rozbušky. Tato pak strhne k výbuchu sekundární náplň a dojde k výbuchu rozbušky.

### 1.3.3 Elektrická pilule <sup>1,2</sup>

Elektrická pilule (obr. 7) se skládá z kovové lamely, odporového drátu, izolace lamel, kovové sponky, primární a sekundární slož a ochranné vrstvy. Na kovové lamely pilule je připájen odporový drát. Jakmile jím začne protékat elektrický proud, tak se začne ohřívat a tím zapálí primární slož, která následně iniciuje výbuch slož sekundární. Stejně jako u celé rozbušky je primární slož třaskavina, která je citlivá na teplo, a sekundární slož je trhavina. Výbuch sekundární slož poté zažehne primární náplň rozbušky zalisovanou v pojistce (u mžikových

rozbušek), nebo zpoždovací směs v pouzdru zpoždovače (u časovaných rozbušek). Průměr a materiál, ze kterého je drátek vyroben, odpovídá citlivosti celé pilule a volí se tak, aby vyhovoval danému použití rozbušky. Jednotlivé lamely jsou od sebe odizolovány a upevněny kovovou sponkou. Celá sekundární slož je pokryta ochrannou vrstvou nátěru.



Obr. 7 Schéma elektrické pilule <sup>1</sup>

#### 1.3.4 Dutinka <sup>1,2</sup>

Materiál, ze kterého je dutinka vyrobena, je buď hliník, nebo měď. Nejdříve se z pásu plechu vystřihne rondel o daném průměru a pak následuje někdy i více než 12 tažných operací, které dají dutince konečný tvar. Délky dutinek se pohybují v rozmezí 50 - 100 mm. Dutinka musí být navržena tak, aby odolala lisovacímu tlaku, který je vyvíjen při lisování náplně. Dutinka se při této operaci nesmí nijak zdeformovat či protrhnout.

#### 1.4 Zpoždovač <sup>1</sup>

Jedná se o kovovou součást každé časované rozbušky. Jak již bylo popsáno v předešlých kapitolách, hlavní funkce zpoždovače je zpoždění výbuchu. Různé stupně časových rozbušek mají jiné délky pouzdra zpoždovače. U rozbušek stupně 1 je pouzdro zpoždovače nejkratší, a to 7 mm. Naopak u rozbušky o nejvyšším stupni s největším zpožděním výbuchu je pouzdro zpoždovače dlouhé 42,7 mm. Z tohoto je zřejmé, že rozsah délek pouzder zpoždovačů je

velký. Jednotlivé délky pouzder zpoždovačů v závislosti na stupni časové rozbušky jsou popsány v tabulce 1.

Tab. 1 Délky pouzder zpoždovačů jednotlivých stupňů rozbušek

Stupeň	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Délka [mm]	7	9	11	13	15	17	19	21	23
Stupeň	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Délka [mm]	25,3	27,4	29,8	32,1	34,2	36,4	38,4	40,2	42,7

Z tohoto je zřejmé, že každý stupeň rozbušky má jiné zpoždění výbuchu, závislé na délce pouzdra zpoždovače. Toto zpoždění se pohybuje kolem desítek milisekund až po stovky milisekund. Rozbuška mžiková žádné zpoždění nemá, a tedy u tohoto typu rozbušek zpoždovač chybí. Celé zpoždění je ovlivněno také poměrem složek zpožďovací směsi. To znamená, že u různých druhů rozbušek může být doba zpoždění jiná, a to i při stejné délce pouzdra zpoždovače.

#### 1.4.1 Zpožďovací slože <sup>1</sup>

Zpožďovací slože se skládají z hořlaviny a okysličovadla. Jako hořlaviny se nejčastěji používají různé kovové prášky, jako je například prášek antimonu či křemíku. Manganistan draselný nebo manganistan se používají jako okysličovadlo.

Tyto suroviny se smíchají buď ručně, nebo v bubnech ve výslednou směs o daném poměru obou složek, která zaručuje stanovenou dobu hoření. Po získání dané směsi se tato směs zhutní tabletováním na hydraulických lisech. Následně se tablety rozemelou a homogenizují se v homogenizačních strojích. Takto se získává hotová zpožďovací slož, která se suší a kontroluje chemickou analýzou, zda má správný poměr obou komponent. Jako poslední kontrola je kontrola nástřelem v kompletních rozbuškách, zda bylo dosaženo požadovaných parametrů.

## 2 ROZBOR MOŽNOSTÍ KONVENČNÍHO OBRÁBĚNÍ

Tato kapitola popisuje problematiku obrábění soustružením.

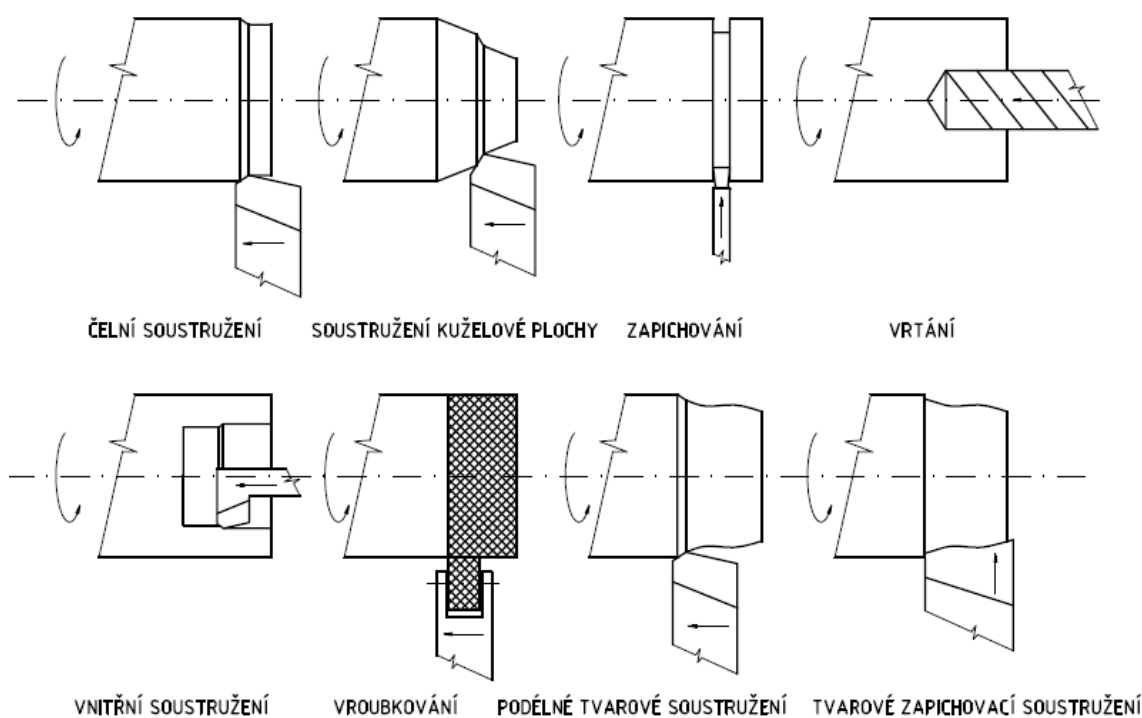
### 2.1 Obrábění <sup>4,5</sup>

Obrábění je technologický proces, při kterém vytváříme nové povrchy určitého tvaru, rozměrů a jakosti. Tyto povrchy vznikají odebráním přebytečného materiálu účinky mechanickými, chemickými, elektrickými nebo jejich kombinací.

Metody obrábění se dají rozdělit podle charakteristických znaků do čtyř základních skupin. První skupinou jsou metody obrábění, při kterých se používá nástroj s definovanou geometrií. Do této skupiny patří například soustružení, frézování, vrtání atd. Další skupinu tvoří metody obrábění, při kterých se používají nástroje s nedefinovanou geometrií. Do této skupiny patří dokončovací metody, jako je například broušení, lapování, honování atd. Do třetí skupiny se mohou řadit všechny nekonvenční metody obrábění, jako je elektroerozivní obrábění, chemické obrábění, obrábění vodním paprskem atd. Poslední skupinu tvoří metody obrábění, při kterých se upravují obrobené plochy. Patří sem například válečkování, hlazení, leštění atd.

## 2.2 Soustružení<sup>5</sup>

Soustružení je metoda obrábění, při kterém odebíráme přebytečný materiál polotovaru pomocí nástroje s definovanou geometrií tak, že obrobek koná hlavní řezný pohyb (rotační) a nástroj vedlejší (posuvový) řezný pohyb (přímočarý). Soustružením se zhotovují součásti rotačních tvarů. Jsou to nejčastěji válcové vnější i vnitřní, kuželové a tvarové plochy. Dále lze na soustruhu obrábět závity, zápichy, rovinná čela obrobku, vrtat, vyvrtávat, vystružovat, válečkovat, vroubkovat, leštit, hladit, atd. Při soustružení válcových ploch se řezný povrch realizuje po šroubovici. Při soustružení rovinných čelních ploch se realizuje řezný pohyb po Archimedově spirále. Část druhů prací na soustruhu je zobrazena na obr. 8.



Obr. 8 Druhy prací na soustruhu<sup>5</sup>

### 2.2.1 Nástroje<sup>5</sup>

Nástroje, se kterými se provádí soustružení, se nazývají soustružnické nože. Tyto soustružnické nože můžeme rozdělovat dle různých hledisek:

Dle technologického hlediska dělíme soustružnické nože na:

- radiální (používají se nejčastěji),
- prizmatické (vyšší počet přestřžení),
- kotoučové (tvarové nože, vysoký počet přestřžení),
- tangenciální (posuv je tangenciální k povrchu obrobku).

Dle konstrukce nože dělíme na:

- celistvé (jak těleso nože, tak i jeho řezná část jsou z jednoho řezného materiálu),
- s pájenými břitovými destičkami (těleso nože je z konstrukční oceli a řezná část v podobě destičky je na těleso připájena tvrdou pájkou),

- s vyměnitelnými břitovými destičkami (těleso nože je opět z konstrukční oceli, ale řezná část v podobě destičky je k tělesu mechanicky upnuta. Tento systém dovoluje po otupení řeznou část vyměnit za jinou, neopotřebovanou).

Dle směru posuvového pohybu dělíme soustružnické nože na:

- pravé: Posuv je vykonáván směrem od koníku k vřetenu soustruhu. (obr. 9 pozice 3),
- levé: Posuv je vykonáván směrem od vřetena soustruhu k jeho koníku. (obr. 9 pozice 2, 4).

Dle způsobu obrábění jsou soustružnické nože určeny pro:

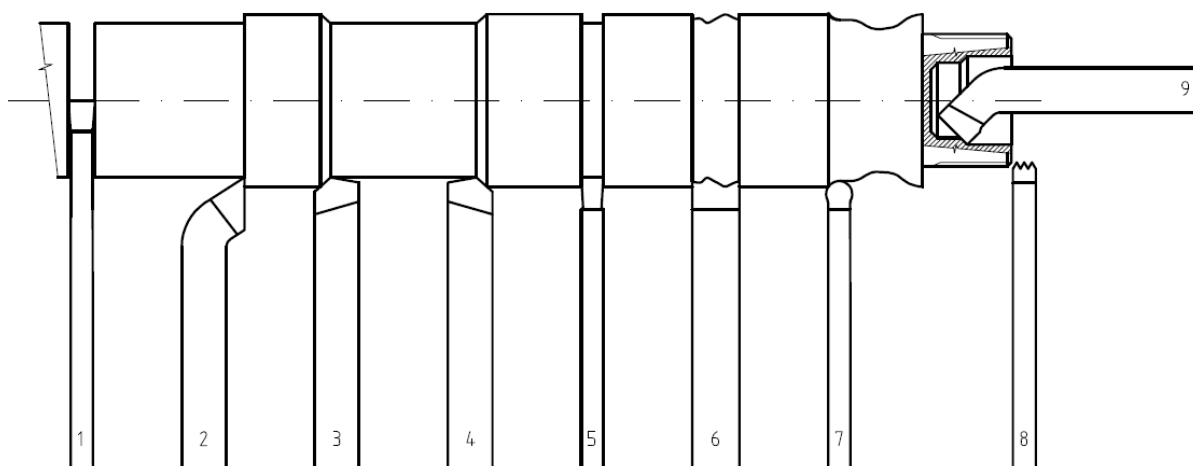
- obrábění vnějších ploch (obr. 9 pozice 1 - 8),
- obrábění vnitřních ploch (obr. 9 pozice 9).

Dle metody obrábění, která se bude s nožem realizovat, dělíme soustružnické nože na:

- uběrací (obr. 9 pozice 2, 3, 4),
- kopírovací (obr. 9 pozice 7),
- závitové (obr. 9 pozice 8),
- tvarové (obr. 9 pozice 6),
- zapichovací (obr. 9 pozice 5),
- upichovací (obr. 9 pozice 1).

Dle tvaru tělesa dělíme soustružnické nože na:

- přímé (obr. 9 pozice 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8),
- ohnuté (obr. 9 pozice 2, 9).



Obr. 9 Soustružnické nože <sup>5</sup>

### 2.2.2 Soustruhy <sup>5</sup>

Tyto soustružnické stroje se vyskytují ve velkém množství typů s různým stupněm automatizace. Z konstrukčně technologického hlediska se soustruhy dělí na hrotové, svislé, čelní, revolverové a speciální. Dle stupně automatizace se dají soustruhy rozdělit na ručně ovládané, poloautomatické a automatické stroje. Velikost soustruhů je obvykle posuzována podle maximálních rozměrů obrobku, který ještě lze na daném stroji obrábět.

### Hrotové soustruhy

Tyto stroje se používají pro soustružení hřídelových a přílbových součástí, a to především u kusové a malosériové výroby. Jsou dostupné ve dvou provedeních, a to univerzální a jednoduché. Univerzální hrotové soustruhy mají na rozdíl od jednoduchých vodící šroub. Na těchto strojích lze obrábět jak vnější, tak vnitřní rotační plochy. Dále na těchto strojích lze zapichovat či upichovat, obrábět čelní rovinné plochy, kuželové plochy, tvarové plochy či řezat závit. Jednoduché hrotové soustruhy se používají převážně pro hrubovací práce a jsou opatřeny elektromotorem o vyšším výkonu než soustruhy univerzální.

### Svislé soustruhy

Svislé soustruhy se běžně nazývají karusely. Jsou určeny pro obrábění těžkých obrobků o velkém průměru. Lze je rozlišovat na jednostranné a dvoustranné. Jednostranné jsou menší a můžeme na nich obrábět obrobek o maximálním průměru 1200 mm. Tyto soustruhy mají jeden suport na příčniku, který se pohybuje po stojanu, na kterém je druhý suport. Dvoustranný svislý soustruh má stojany dva, na kterých může být jeden nebo dva suporty. Po stojanech se pohybuje příčník, který bývá zpravidla opatřen dvěma suporty. Svislé soustruhy se stejně jako soustruhy hrotové využívají především při kusové či malosériové výrobě. Na tomto stroji se dají soustružit jak vnější, tak vnitřní válcové plochy, kuželové plochy, tvarové plochy či závit.

### Revolverové soustruhy

Tyto stroje se využívají při obrábění kusů v menších či středních sériích, a to obrobků, při jejichž obrobení je potřeba více různých nástrojů. Obrobky se zde vyrábí na jedno upnutí. Pouze se pootáčí revolverová hlava, ve které jsou upnuty nástroje, které jsou potřeba pro obrobení kusu. Celá revolverová hlava je součástí suportu. Výhodou tohoto stroje je rychlé a přesné ustavení nástroje vůči obrobku. Na revolverových soustruzích (obr. 10) je možné obrábět jak v příčném, tak i v podélném směru a také v ose obrobku (vrtání apod.). Tyto stroje můžeme dělit na soustruhy se svislou, vodorovnou nebo šikmou osou revolverové hlavy.



Obr. 10 Revolverový soustruh <sup>21</sup>

### Čelní soustruhy

Používají se pro obrábění deskovitých součástí velmi velkého průměru. Mají jeden nebo dva podélné suporty a někdy je jejich součástí i koník na podepření obrobku.

### 3 TECHNOLOGIČNOST KONSTRUKCE <sup>6,7</sup>

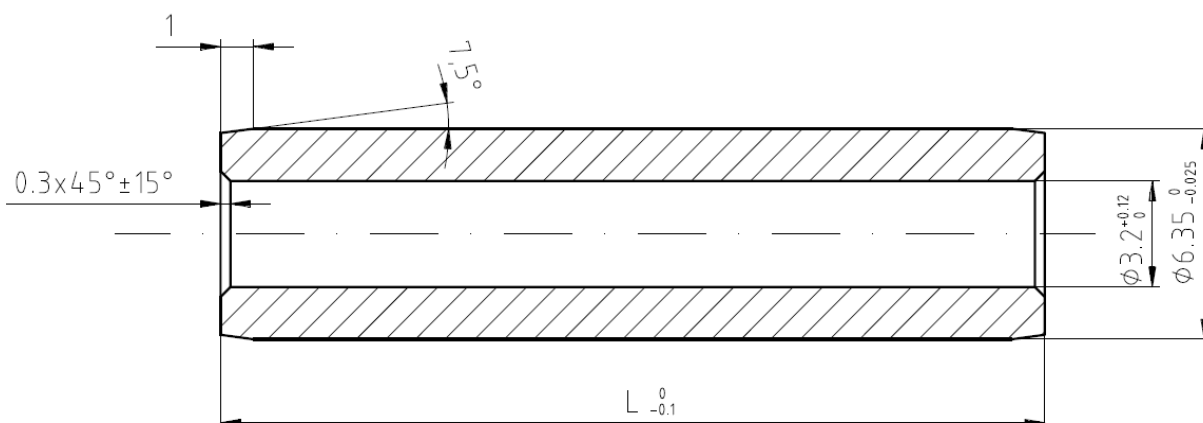
Jedná se o souhrn technologicko-ekonomických vlastností, jež mají zajistit optimální podmínky z hlediska funkce, životnosti, spolehlivosti a efektivity výroby součástí. To znamená, že daná součást musí být funkční po stanovenou dobu životnosti při maximálně hospodárné výrobě. Technologičnost konstrukce je vždy ovlivněna danými podmínkami výrobního procesu. Hlavní zásady, které se musí při správné technologičnosti konstrukce dodržet, jsou tyto:

- využitelnost materiálu musí být co nejvyšší a toho se docílí například správnou volbou tvaru polotovaru. Vhodné je také využití hromadně vyráběných a normalizovaných polotovarů,
- správná volba technologie výroby součástí s ohledem na velikost série,
- snaha o použití co možná nejmenšího počtu druhů materiálů, což zaručuje nižší cenu,
- součást by měla mít co nejmenší počet obráběných ploch a také by tyto plochy měly být co nejjednodušší a nejmenší, pro jejichž obrobění nebude potřeba speciálních nástrojů.
- obráběné plochy by měly být co nejpřístupnější pro obrábění,
- čas, který se spotřebuje na přípravu výroby či manipulaci s materiálem, na samotnou výrobu a montáž musí být co nejmenší,
- musí se také zajistit snadné napolohování, upnutí a ustavení obrobku. To znamená, že konstrukce musí být volena tak, aby na obrobku bylo dostatečné množství vhodných základů,
- přesnost a drsnost musí být volena tak, aby byla co nejmenší a přitom pořád splňovala požadavky kladené na výrobek,
- maximální využívání typizovaných a normalizovaných částí či dědičnosti. Přebírání dílů či konstrukčních prvků, které byly použity na nějaké jiné součásti.

#### 3.1 Technologičnost konstrukce pouzdra zpoždovače

Pouzdro zpoždovače (obr. 11) je dutá válcovitá součástka. Vnější povrch válce musí být vyroben s dostatečnou přesností a jakostí plochy, aby celé pouzdro šlo bez problémů zalisovat do dutinky rozbušky. Rozměr a jakost vnitřní válcové plochy je také zpřesněna, a to z důvodu, aby se do každého pouzdra jedné řady vešlo přibližně stejné množství zpožďovací složky. Tímto je zajištěno stejné zpoždění všech rozbušek v jedné řadě. Délka pouzdra  $L$  se mění podle stupně rozbušky. Jednotlivé délky pouzder v závislosti na stupni rozbušky jsou vypsány v tabulce 1. Sražením vnitřních hran je usnadněno plnění a zalisování zpožďovací složky do pouzdra zpoždovače. Vnější hrany jsou sraženy tak, aby bylo docíleno snadného zalisování zpoždovače do dutinky rozbušky. Malý úhel je volen s ohledem na minimalizaci prázdného prostoru nad primární náplní rozbušky. Tato konstrukce plně vyhovuje účelu, který pouzdro zpoždovače má.





Obr. 11 Pouzdro zpoždovače

### 3.2 Volba materiálu

Požadavky z hlediska funkce součástky jsou, že materiál má být nehořlavý a má mít dostatečně vysokou teplotu tavení, aby v průběhu hoření zpožďovací složky nedošlo k natavení pouzdra, které by mělo za následek jeho ucpání a selhání celé rozbušky. Tato kritéria plně splňuje ocel. Dále by měl materiál být dobře obrobitelný a levný. Splnění těchto kritérií nám zaručí nejnížší náklady na výrobu pouzdra. S ohledem na tyto požadavky je nejvhodnějším materiálem ocel označována dle ČSN jako 11 109. Jedná se o automatovou ocel, která je velmi dobře obrobitelná a levná. Tento materiál plně postačuje účelu, pro který je pouzdro zpožďovače vyráběno. Z materiálového listu lze vyčíst informace o materiálu, jejichž stručný přehled je vypsán v tabulce 2.

Tab. 2 Informace o složení a vlastnostech materiálu ČSN 41 1109

Chemické složení [hm. %]			
C	Mn	P	S
max. 0,132	0,90-1,50	max. 0,100	0,210-0,320
Mechanické vlastnosti			
Mez kluzu $R_e$ [MPa]	Mez pevnosti $R_m$ [MPa]	Tažnost A [%]	
395-555	540-760	7	

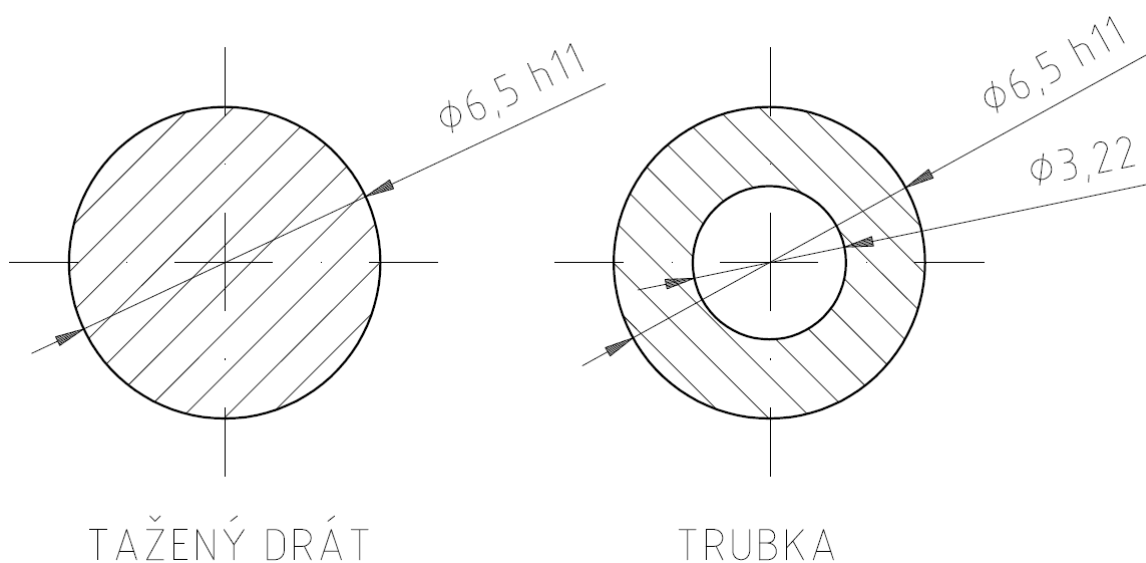
Další informace, které o oceli ČSN 11 109 lze získat z materiálového listu, jsou, že její hustota je  $\rho=7850 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  a označení dle normy ISO je 11SMn28.

### 3.3 Volba polotovaru

Jelikož se vnější průměr pouzdra zpožďovače bude brousit, aby splnil dané požadavky na kvalitu a jakost plochy, musí se uvažovat s určitým přírůstkem na broušení. 0,15 mm je pro operaci broušení postačující, proto se bude volit z polotovarů o jmenovitém průměru 6,5 mm. První možností je použití taženého drátu (obr. 12) o průměru 6,5 mm h11 (HMR=6,5 mm, DMR=6,41 mm). Tento drát se prodává ve svitcích vážících přibližně 500 kg. U zvoleného materiálu 11 109 se cena za jeden kilogram drátu pohybuje v rozmezí 24-27 Kč. Další možností polotovaru je využití trubky o vnějším průměru také 6,5 mm h11 a vnitřním

průměru otvoru 3,22+0,1 mm (obr. 12). Trubka se také dodává ve svitcích. U zvolené oceli ČSN 11 109 se však cena za jeden kilogram pohybuje v rozmezí 62-64 Kč. Dané ceny se mění v závislosti na aktuální ceně oceli a také dle aktuálního kurzu české měny. Proto se v následujících výpočtech bude kalkulovat s průměrnou cenou materiálu, a to 25,5 Kč za kilogram taženého drátu a 63 Kč za kilogram trubky.

Z cen polotovarů je zřejmé, že trubka je o 147 % dražší než tažený drát. Tato hodnota však není vypovídající, jelikož z jednoho kilogramu trubky se vyrobí více kusů než z kilogramu taženého drátu. Proto se musí hodnota přepočítat na počet kusů, který lze vyrobit z jednoho kilogramu jednotlivých druhů polotovarů. Níže uvedený výpočet je pouze pro 1. stupeň rozbušky. Tato rozbuška má pouzdro zpoždovače dlouhé 7 mm. Výpočty pro ostatní stupně jsou uvedeny v příloze č. 1 a výsledky jsou uvedeny v tabulce 3.



Obr. 12 Průřezy jednotlivých polotovarů

### 3.3.1 Výpočet počtu kusů z kilogramu polotovaru

Při výpočtu se vychází ze vztahů (1), (2) a (3). Vhodnou úpravou těchto vztahů se dojde k výsledným vztahům (5) a (6).

Výchozí vztahy:

$$m = V \cdot \rho \quad (1)$$

$$V = \frac{\pi \cdot D^2}{4} l \quad \left( V = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} l \right) \quad (2)$$

$$i = \frac{l}{L} \quad (3)$$

$$c = \frac{C}{i} \quad (4)$$

kde:	C [Kč]	-	cena za kilogram daného polotovaru
	D [m]	-	vnější průměr polotovaru
	L [m]	-	celková délka polotovaru připadající na jeden přířez
	V [m <sup>3</sup> ]	-	objem
	c [Kč]	-	cena materiálu spotřebovaného na jeden vyrobený kus
	d [m]	-	vnitřní průměr pouzdra zpoždovače (trubky)
	i [ks]	-	počet kusů vyrobených z jednoho kilogramu daného polotovaru
	l [m]	-	délka kilogramu daného polotovaru
	m [kg]	-	hmotnost
	ρ [kg·m <sup>-3</sup> ]	-	hustota

Výsledný vztah pro určení počtu kusů z jednoho kilogramu taženého drátu:

$$i = \frac{4 \cdot m}{\pi \cdot \rho \cdot L \cdot D^2} \quad (5)$$

Výsledný vztah pro určení počtu kusů z jednoho kilogramu trubky:

$$i = \frac{4 \cdot m}{\pi \cdot \rho \cdot L \cdot (D^2 - d^2)} \quad (6)$$

Určení celkové délky přířezu:

Pro dělení materiálu se použije pilový kotouč s označením ČSN 22 2910.1 160x1,2x32 HSS, jehož šířka je 1,2 mm. Dále je třeba počítat s přídávkem na zarovnání čel. Jelikož je průměr polotovaru malý, plně postačí přídavek 0,8 mm na celou délku pouzdra. To znamená přídavek 0,4 mm na jedno čelo. Z toho vyplývá, že délka přířezu je u všech stupňů rozbušek vždy o 2 mm větší, než je konečná délka pouzdra zpoždovače.

Počet kusů pouzder rozbušky 1. stupně vyrobených z kilogramu taženého drátu (5):

$$i_1 = \frac{4 \cdot m}{\pi \cdot \rho \cdot L \cdot D^2} = \frac{4 \cdot 1}{\pi \cdot 7850 \cdot (0,007 + 0,002) \cdot 0,0065^2} = 426 \text{ ks}$$

Cena materiálu pouzdra zpoždovače rozbušky 1. stupně vyrobeného z taženého drátu (4):

$$c_1 = \frac{C_{dr}}{i} = \frac{25,5}{426} = 0,059859 \text{ Kč}$$

Počet kusů pouzder rozbušky 1. stupně vyrobených z kilogramu trubky (6):

$$i_2 = \frac{4 \cdot m}{\pi \cdot \rho \cdot L \cdot (D^2 - d^2)} = \frac{4 \cdot 1}{\pi \cdot 7850 \cdot (0,007 + 0,002) \cdot (0,0065^2 - 0,00322^2)} = 565 \text{ ks}$$

Cena materiálu pouzdra zpoždovače rozbušky 1. stupně vyrobeného z trubky (4):

$$c_2 = \frac{C_{tr}}{i} = \frac{63}{565} = 0,111504 \text{ Kč}$$

Z výpočtu vyplývá, že pouzdro zpoždovače rozbušky 1. stupně vyrobené z trubky je o 86,3 % dražší, než když je vyrobeno z drátu.

Tab. 3 Porovnání výhodnosti polotovarů

Stupeň	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$i_1[\text{ks}]$	426	348	295	255	225	202	182	166	153
$c_1[\text{Kč}]$	0,0599	0,0733	0,0864	0,1	0,1133	0,1262	0,1401	0,1536	0,1667
$i_2[\text{ks}]$	565	462	391	339	299	267	242	221	203
$c_2[\text{Kč}]$	0,1115	0,1364	0,1611	0,1858	0,2107	0,236	0,2603	0,2851	0,3103
%	86,3	86,1	86,4	85,8	85,9	86,9	85,8	85,6	86,2
Stupeň	10	11	12	13	14	15	16	17	18
$i_1[\text{ks}]$	140	130	120	112	106	99	95	90	85
$c_1[\text{Kč}]$	0,1821	0,1962	0,2125	0,2277	0,2406	0,2576	0,2684	0,2833	0,3
$i_2[\text{ks}]$	186	173	159	149	140	132	125	120	113
$c_2[\text{Kč}]$	0,3387	0,3642	0,3962	0,4228	0,45	0,4773	0,504	0,525	0,5575
%	86	85,7	86,5	85,7	87,1	85,3	87,8	85,3	85,8

Z tabulky je zřejmé, že při použití polotovaru ve formě trubky je výrobek v průměru o 86,1 % dražší než při použití taženého drátu.

### 3.3.2 Výpočet navýšení strojního času vrtáním<sup>8</sup>

Na druhou stranu při použití taženého drátu se do přířezu musí vyvrtat díra, zatímco při použití trubky tato vrtací operace odpadá. To znamená, že výroba pouzdra zpoždovače za použití polotovaru taženého drátu trvá déle.

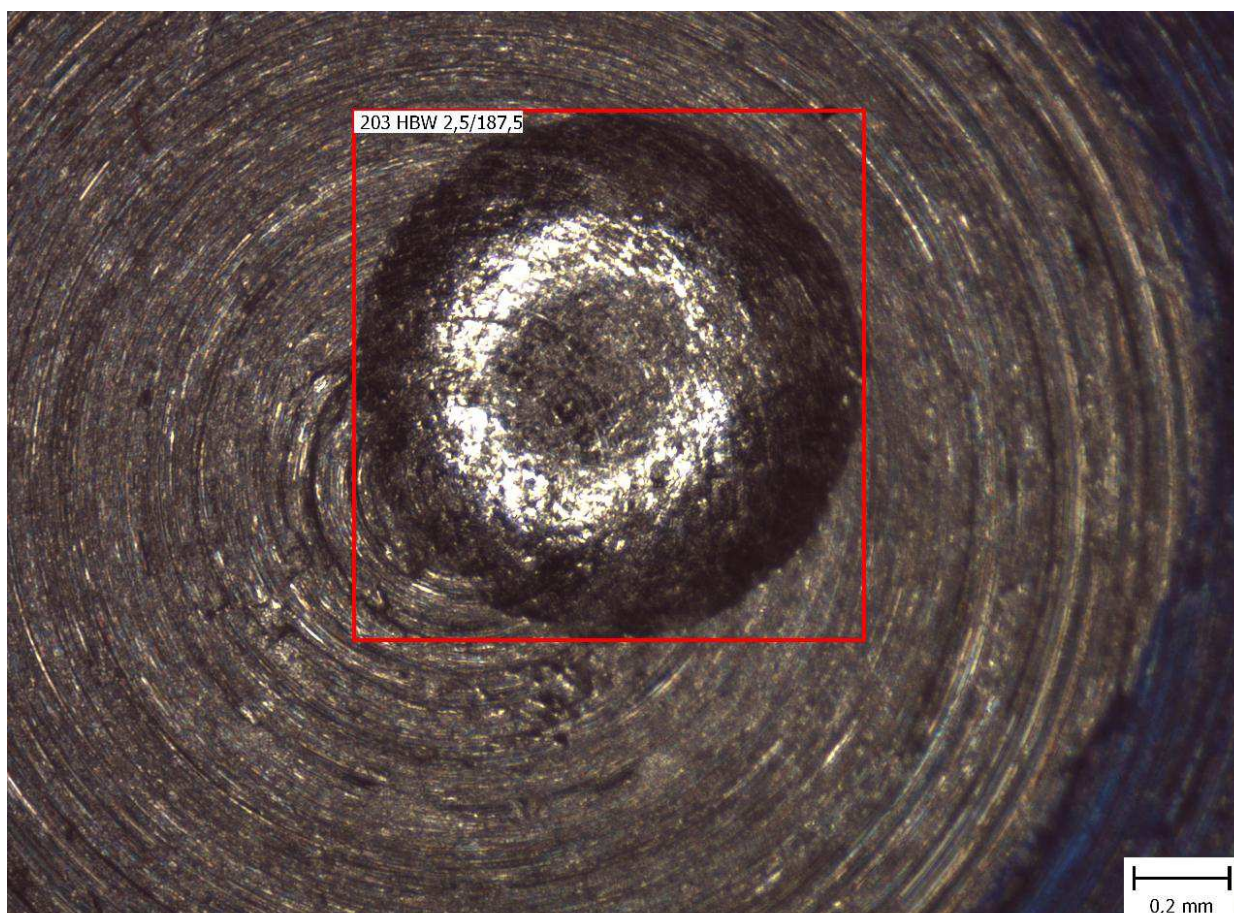
Z katalogu firmy Sandvik Coromant volím vrtací nástroj s označením R840-0320-50-A0A, jehož průměr je 3,2 mm. Z tabulky v katalogu lze zjistit, že pro obrábění ocele daným vrtákem se má řezná rychlost volit v rozmezí  $70\text{--}120\text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$  a posuv  $0,10\text{--}0,20\text{ mm}\cdot\text{ot}^{-1}$ . Vzhledem k tomu, že je obráběna ocel automatová, jejíž obrobitelnost je vynikající, mohou se volit hodnoty posuvu při horní hranici daného rozmezí. To znamená, že se dále bude uvažovat s hodnotami řezné rychlosti  $v_c=100\text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$  a posuvu  $f_n=0,2\text{ mm}\cdot\text{ot}^{-1}$ .

Ovšem tyto hodnoty jsou pro ocel o tvrdosti 180 HB. Jelikož v materiálovém listě dané oceli ČSN 11 109 tato informace není udána, musí se provést měření. Měření se bude provádět na vzorcích oceli vyrobených přímo z taženého drátu průměru 6,5 h 11 mm. Provede se 6 měření na 6 vzorcích a vpichy se budou situovat přímo do míst, kde bude probíhat vrtání. Celé měření bylo prováděno na tvrdoměru Brinell firmy LECO v laboratoři ústavu materiálového inženýrství. Průměr měřicí kuličky byl 2,5 mm a zatěžovalo se silou 187,5 N. Otisk kuličky se následně měřil a vyhodnocoval na elektronické lupě (obr 13). Poté se dané výsledky vyhodnotí a určí se výsledná tvrdost. V tabulce 4 jsou uvedeny jednotlivé naměřené hodnoty.

Tab. 4 Naměřené hodnoty tvrdosti materiálu ČSN 41 1109

Vzorek	1	2	3	4	5	6
Tvrdost[HB]	203	204	202	206	203	203

Průměrná hodnota tvrdosti se určí sečtením všech naměřených hodnot a následným vydělením počtem měření. To znamená, že hodnota tvrdosti, se kterou se bude dále počítat, je 203,5 HB. Pomocí katalogu se poté určí opravný koeficient, kterým je třeba vynásobit řeznou rychlost. Tento koeficient má pro tvrdost 203,5 HB hodnotu 0,9. Z tohoto vyplývá, že doporučená řezná rychlost je  $90\text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ .



Obr. 13 Otisk při měření tvrdosti dle Brinella

Z těchto hodnot se nyní může určit hodnota strojního času pro vrtání pouzder zpoždovačů. Délka nájezdu je volena 1 mm, délka přejezdu pak 2 mm. U pouzder zpoždovače stupně 1-7 bude vrtání probíhat v celé délce na jednu operaci. To znamená, že při výpočtu se bude uvažovat pouze s jedním nájezdem i přejezdem. U zbylých stupňů se bude vrtání otvoru provádět nadvakrát vždy do půlky z jedné i druhé strany. To znamená, že v těchto případech je třeba uvažovat se dvěma nájezdy i přejezdy. Vztah pro výpočet celkového strojního času potřebného pro vyvrtání otvoru v pouzdru zpoždovače se dostane vhodnou úpravou základních vzorců (7), (8) a (9). Vzhledem k velmi malým časům jsou použity sekundy a ne minuty.

$$v_c = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \quad (7)$$

$$t_s = \frac{L_c}{n \cdot f_n} \quad (8)$$

$$L_c = l_{pz} + l_n + l_p \quad (L_c = l_{pz} + 2l_n + 2l_p) \quad (9)$$

kde:  $L_c$  [mm] - celková délka obrábění  
 $d$  [mm] - vnitřní průměr pouzdra zpoždovače (trubky)  
 $f_n$  [mm·ot<sup>-1</sup>] - posuv  
 $l_n$  [mm] - délka náběhu  
 $l_p$  [mm] - délka přeběhu  
 $l_{pz}$  [mm] - délka pouzdra zpoždovače  
 $n$  [ot·min<sup>-1</sup>] - otáčky  
 $t_s$  [min] - strojní čas  
 $v_c$  [m·min<sup>-1</sup>] - řezná rychlost

Výsledný vztah pro určení celkového strojního času pro vrtání otvoru pro pouzdra zpoždovačů stupně 1-7 (10):

$$t_s = \frac{\pi d(l_{pz} + l_n + l_p)}{1000 \cdot v_c \cdot f_n} \quad (10)$$

Výsledný vztah pro určení celkového strojního času pro vrtání otvoru pro pouzdra zpoždovačů stupně 8-18 (11):

$$t_s = \frac{\pi d(l_{pz} + 2l_n + 2l_p)}{1000 \cdot v_c \cdot f_n} \quad (11)$$

Následující výpočet je pro pouzdro zpoždovače prvního stupně, jehož délka je 7 mm. Výpočty pro ostatní stupně jsou uvedeny v příloze 2 a výsledky jsou uvedeny v tabulce 5.

Strojní čas pro vrtání otvoru pouzdra zpoždovače 1. stupně (10):

$$t_s = \frac{\pi d(l_{pz} + l_n + l_p)}{1000 \cdot v_c \cdot f_n} = \frac{\pi \cdot 3,2(7 + 1 + 2)}{1000 \cdot 90 \cdot 0,2} = 0,00559 \text{ min}$$

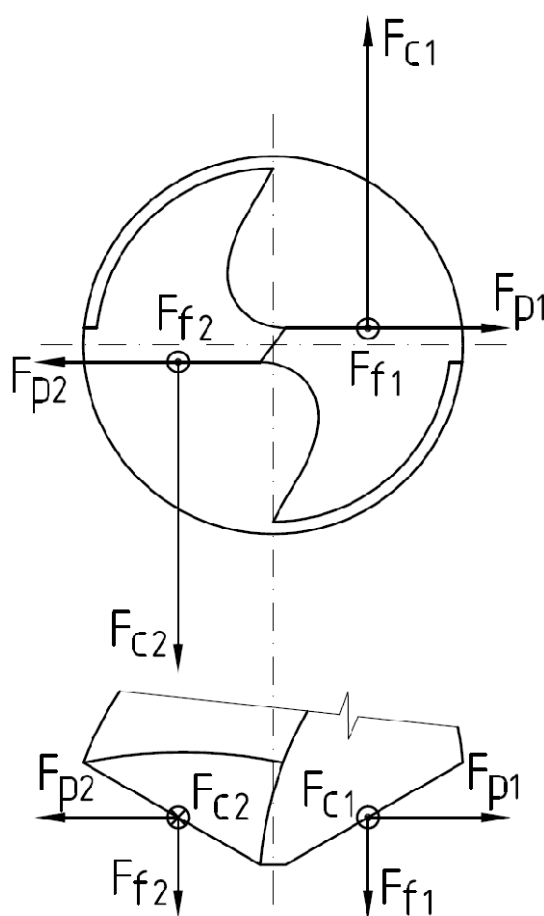
Stojní čas potřebný pro vyvrtání díry pouzdra zpoždovače 1. stupně je 0,00559 min, což je 0,335 s.

Tab 5. Strojní časy vrtání

Stupeň	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$t_s$ [s]	0,335	0,402	0,469	0,536	0,603	0,670	0,737	0,905	0,972
Stupeň	10	11	12	13	14	15	16	17	18
$t_s$ [s]	1,049	1,119	1,200	1,277	1,347	1,421	1,488	1,548	1,632

### 3.4 Výpočet řezné síly a výkonu při vrtání <sup>4</sup>

Při vrtání vznikají na každém břitě 3 síly. Síla pasivní, síla posuvová a síla řezná. Při správném naostření vrtáku se jednotlivé pasivní síly obou břitů vrtáku vyruší (13) a síla posuvová je oproti síle řezné zanedbatelná (14). Dále se tedy bude počítat pouze síla řezná, protože je největší a má na řezání největší vliv (12). Jak síly na vrtáku působí, je znázorněno na obrázku 14.

Obr. 14 Síly vznikající při vrtání<sup>4</sup>

Z obrázku je zřejmé že:

$$F_c = F_{c1} + F_{c2} \quad (12)$$

$$F_p = F_{p1} - F_{p2} = 0 \quad (13)$$

$$F_f = F_{f1} + F_{f2} \quad (14)$$

Vhodnou úpravou vztahů (15), (16), (17) a (18) se získá konečný vzorec pro výpočet řezné síly (19), krouticího momentu k ose vrtáku (20) a řezného výkonu při vrtání otvoru v pouzdře zpoždovače (21).

$$F_c = k_c \cdot A_D \quad (15)$$

$$A_D = \frac{f_n}{2} \cdot \frac{d}{2} \quad (16)$$

$$M_c = 2 \frac{F_c}{2} \cdot \frac{d}{4} \quad (17)$$

$$P_c = \frac{F_c \cdot v_c}{2 \cdot 60 \cdot 10^3} \quad (18)$$

$$F_c = \frac{k_c \cdot f_n \cdot d}{4} \quad (19)$$

$$M_c = \frac{k_c \cdot f_n \cdot d^2}{16} \quad (20)$$

$$P_c = \frac{k_c \cdot f_n \cdot d \cdot v_c}{4,8 \cdot 10^5} \quad (21)$$

kde:  $A_D$  [mm<sup>2</sup>] - průřez třísky pro vrtání  
 $F_c$  [N] - řezná síla  
 $F_f$  [N] - posuvová síla  
 $F_p$  [N] - pasivní síla  
 $M_c$  [Nmm] - krouticí moment k ose vrtáku  
 $P_c$  [kW] - řezný výkon při vrtání  
 $d$  [mm] - vnitřní průměr pouzdra zpoždovače (trubky)  
 $f_n$  [mm·ot<sup>-1</sup>] - posuv  
 $k_c$  [MPa] - měrná řezná síla materiálu  
 $v_c$  [m·min<sup>-1</sup>] - řezná rychlost

Dle tabulky 6 je přibližná hodnota měrného řezného odporu materiálu ČSN 41 1109 s  $R_e=395-555$  MPa asi 2700 MPa.

Tab. 6 Přehled měrných řezných sil <sup>9</sup>

Materiál	$R_e$ [MPa]	$k_c$ [MPa]		
		Soustružení	Frézování	Vrtání
Uhlíková ocel	450	2100	3650	2700
Uhlíková ocel	600	2160	4500	3400
Uhlíková ocel	700	2450	4950	4000

Orientační výpočet řezné síly:

$$F_c = \frac{k_c \cdot f_n \cdot d}{4} = \frac{2700 \cdot 0,2 \cdot 3,2}{4} = 432 \text{ N}$$

Orientační výpočet krouticího momentu k ose vrtáku:

$$M_c = \frac{k_c \cdot f_n \cdot d^2}{16} = \frac{2700 \cdot 0,2 \cdot 3,2^2}{16} = 345,6 \text{ Nmm}$$

Orientační výpočet řezného výkonu:

$$P_c = \frac{k_c \cdot f_n \cdot d \cdot v_c}{4,8 \cdot 10^5} = \frac{2700 \cdot 0,2 \cdot 3,2 \cdot 90}{4,8 \cdot 10^5} = 0,324 \text{ kW}$$

Dané hodnoty jsou orientační, protože také zvolená měrná řezná síla je jen orientační. Pokud by bylo potřeba přesnějšího výpočtu, tak by postup byl, že by se změřila řezná síla a krouticí moment experimentálně a následně by se vyhodnotila přesná hodnota měrného řezného odporu. Nicméně hodnota řezného výkonu je tak nízká, že s největší pravděpodobností jakýkoli obráběcí stroj bude schopen poskytnout několikanásobně vyšší výkon, než bude ve skutečnosti potřeba.



### 3.5 Shrnutí technologičnosti konstrukce

Dle skutečností, které byly zjištěny v předchozích kapitolách, je z hlediska technologičnosti konstrukce nejvýhodnější vyrábět pouzdro zpoždovače z materiálu ČSN 41 1109. Co se týče polotovaru, je výhodné použít polotovar ve formě taženého drátu, pokud je výroba směřována na ekonomicky nejvýhodnější variantu. To znamená, že při použití polotovaru taženého drátu budou náklady na výrobu nejnižší. Pokud je výroba směřována k maximální výrobnosti, je výhodnější použít polotovaru ve formě trubky. To znamená, že při použití polotovaru trubky, bude výroba rychlejší a za jednotku času se vyrobí více kusů.

## 4 ŘEŠENÍ TECHNOLOGIE VÝROBY SOUČÁSTKY POUZDRO ZPOŽDOVAČE

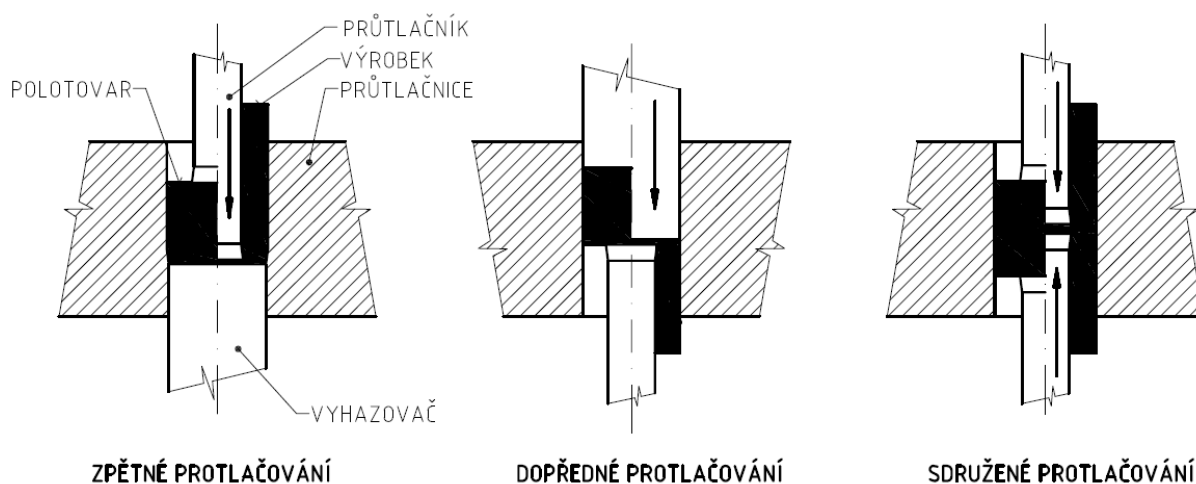
Součástka pouzdro zpoždovače má jednoduchý válcovitý tvar, takže nejvhodnější technologií výroby je soustružení. Je třeba ale zvážit i jiné možnosti výroby této součástky, jako jsou například lící či tvářecí technologie.

### 4.1 Technologie výroby odléváním

Výhodou této technologie je, že se dá odlévat více pouzder zpoždovačů najednou. Podstatnou nevýhodou je to, že po odlití zbudou na odlitku technologické přídavky, jako jsou například úkopy. Tyto přídavky bude nutné po odlití odstranit na nějakém konvenčním stroji, což prodlouží čas na výrobu jednoho pouzdra. Také náklady by vzrostly, protože by se musel pořídit další stroj. K tomuto stroji by se poté vázaly další náklady ať už na provoz či údržbu, nebo na pracovníky, kteří by stroj obsluhovali. Další problém této technologie by bylo vhodné zvolení materiálu. Pouzdro zpoždovače nemusí vykazovat nijak dobré mechanické vlastnosti. Problém by ovšem nastal při snaze dodržet podmínku vyšší teploty tavení, aby při prohořívání zpožďovací směsi nedošlo k natavení pouzdra, což by mohlo zapříčinit poruchu iniciace celé rozbušky. Proto se nemůže využít různých neželezných materiálů a jejich slitin, jako jsou například hliník nebo zinek. Proto je tato technologie pro výrobu pouzdra zpoždovače nevhodná.

### 4.2 Technologie výroby protlačováním

I když by byl nástroj volen tak, aby bylo možné při protlačování zároveň vypěchovat jedno vnější sražení na konci pouzdra, stále by zůstával problém s blánou, která po pěchování zůstane v otvoru a se zbylým sražením na druhém konci. Tato blána by se musela následně odstranit na konvenčním stroji. Ať už by se jednalo o protlačování dopředné, zpětné či sdružené (obr 15), vždy by nějaký materiál v otvoru zůstal. Další problém, který by vznikl při této technologii, je v tom, že průměr průtlačníku by byl velmi malý a zároveň by byla potřeba, aby byl dostatečně dlouhý, aby dokázal protlačit pouzdro zpoždovače i pro stupeň rozbušky 18. To by způsobilo vysoké namáhání na vzpěr, které by bylo vyvoláno protlačovací silou. Navíc by se proces musel provádět ve více operacích (především u vyšších stupňů rozbušek), což by prodlužovalo čas potřebný pro vyrobení jednoho pouzdra. Náklady by také zvyšoval stroj potřebný k obrobení sražení a k provrtání otvoru v pouzdře. Další stroj, který by k této výrobě byl potřeba, je stroj, který umožňuje provádět přesné střihání, což by opět zvyšovalo náklady. Na tomto stroji by se chystaly polotovary pro protlačování. Tato technologie je, stejně jako předešlá, pro výrobu pouzdra zpoždovače nevhodná.

Obr. 15 Dopředné, zpětné a sružené protlačování<sup>4</sup>

#### 4.3 Technologie výroby soustružením na revolverovém soustruhu

Technologie soustružení je pro výrobu pouzdra zpoždovače nejvhodnější. Polotovár by se musel srovnat na rovnačce a následně nadělit na přířezy o dané délce dle stupně rozbušky, pro kterou bude pouzdro zpoždovače použito. Poté by se provedlo soustružení sražení na jedné straně a vrtání otvoru buď skrz polotovár, nebo do předem určené hloubky dle délky pouzdra. Následně by se tyto operace provedly také na opačné straně. První možnost by byla, že by si pracovník otočil polotovár a prováděl by další operace na stejném stroji. Možnost druhá by byla taková, že by obrobené kusy ukládal do krabice, ze které by výrobky bral druhý pracovník, který by na jiném revolverovém soustruhu prováděl zbývající operace. Výhodou této možnosti technologie výroby je, že stroj je levný oproti například soustružnickému automatu. Nevýhody jsou, že u každého stroje musí být pracovník, který stroj obsluhuje. Další nevýhodou je, že při výrobě vznikají dlouhé vedlejší strojní časy, které jsou zapříčiněny upínáním a odepínáním obrobku. Poslední nevýhodou je, že se polotovár musí chystat na specializovaném pracovišti, což prodlužuje výrobní čas a taky celou výrobu prodražuje. Využití revolverových soustruhů při výrobě pouzder zpoždovačů by mělo smysl pouze v případě malosériové výroby. Jelikož se ale jedná o výrobu hromadnou, je i tato technologie soustružení na revolverovém soustruhu pro výrobu pouzdra zpoždovače nevhodná.

#### 4.4 Technologie výroby soustružením na stroji Mikron NAM-8 CNC<sup>10</sup>

Stroj švýcarské firmy Mikron s označením NAM-8 CNC (obr. 16) je stavebnicový stroj s otočným vertikálním taktovacím stolem. Poprvé byl představen v roce 2009. Otočný stůl je vybaven osmi polohami, ve kterých může probíhat obrábění. Vertikální taktovací stůl zaručuje přesnost taktování  $\pm 0,003$  mm a čas přesunu z jedné polohy do druhé je 0,7 s. Dále je stroj vybaven mimo jiné chladicím zařízením s obsahem 1500 dm<sup>3</sup>, včetně možností vnitřního chlazení nástroje, rovnačkou i odvíječkou drátu, elektrorozvaděčovou skříní s CNC řízením Bosh atd. Maximální otáčky vřetene jsou až 40000 · min<sup>-1</sup> a na stroji lze obrábět obrobek o rozměrech až 40x40x80 mm.

Obr. 16 Mikron NAM-8 CNC <sup>22</sup>

Výroba pouzdra zpoždovače na tomto stroji by probíhala tak, že by se najednou vyráběly vždy dva kusy. To znamená, že by bylo potřeba dvou odvíječek a dvou rovnaček ke každému stroji. První operace by probíhala na pracovištích 1 a 5. Zde by se drát uřízl a provedlo by se obrobení vnějšího sražení z horní strany polotovaru. Na dalších stanovištích 2 a 6 by se současně provádělo obrobení vnějšího stažení ze spodní strany polotovaru a na horní straně by se navrtal středící důlek. Dále na stanovištích 3 a 7 by se provádělo vrtání otvoru z horní strany a současně by se na spodní straně vyvrtal středící důlek. Na posledních stanovištích 4 a 8 by bylo provedeno dovrtání otvoru ze spodní strany osazeným vrtákem, který by rovnou vyrobil vnitřní sražení otvoru, a současně by se toto sražení provedlo také na horní straně obrobku. Následně by došlo k upuštění hotového pouzdra zpoždovače na dopravní pás, který by hotové pouzdra přepravil do beden. Firma Mikron se zaručila, že tento stroj je schopen takto vyrobit přibližně 40 pouzder za minutu pro výrobky s délkami až do 25,3 mm. U pouzder, jejichž délka je v rozmezí 25,3-38,4 mm, je takt stroje přibližně 35 kusů za minutu. U zbývajících délek v rozmezí 38,4-42,7 mm je tento stroj schopen vyrobit přibližně 30 kusů za minutu. Cena celého stroje i s příslušenstvím i nástroji je 1130000 CHF.

#### 4.5 Technologie výroby soustružením na stroji Pfiffner HYDROMAT HW 25/12 <sup>11, 12</sup>

Tento stroj HYDROMAT HW 25/12 (obr. 17), který vyrábí švýcarská firma Pfiffner, je opět soustružnický stavebnicový automat s vertikálním otočným stolem. Otočný stůl je vybaven dvanácti pozicemi, na kterých může probíhat obrábění. Veškerý pohyb stroje je realizován pomocí hydrauliky. Stroj je vybaven 12 vertikálními a 6 horizontálními obráběcími jednotkami. Maximální velikost polotovaru, který ještě lze na stroji obrábět, je průměr 25 mm a délka 100 mm. Doba, kterou stroj potřebuje k přesunutí z jedné pozice do druhé, je 0,5 s a stroj je opět standardně vybaven odvíječkou i rovnačkou drátu ze svitku. Řízení hydraulických systémů je zabezpečeno systémem firmy Bosh a jako řídicí software je používán Sinumerik 840D firmy Siemens.

Obr. 17 Pfiffner HYDROMAT HW 25/12<sup>23</sup>

Výroba pouzdra zpoždovače na tomto stroji by probíhala tak, že na první pozici otáčivého stolu by byl přiveden narovnaný drát, který by se upnul a uřízl na požadovanou délku. Na pozici číslo dvě by se vyrobilo vnější sražení na jedné straně součástky. Pak by následovalo navrtání středického důlku na pozici tři. Na čtvrté pozici by se vyvrtal otvor do předem definované hloubky. Na následující pozici by se obrobilo vnitřní sražení díry. Šesté stanoviště by bylo vybaveno otočným zařízením, které by polotovar otočilo o 180°. Na pozici číslo sedm by se vyrobilo zbývající vnější sražení hrany a o pozici dál by se navrtal středící důlek. Na devátém stanovišti by se provedlo vrtání otvoru do takové hloubky, aby byl otvor průchozí. Na desátém stanovišti by proběhlo obrobení vnitřního sražení otvoru. Jedenácté stanoviště by mohlo být prázdné, nebo by mohlo být vybaveno kontrolním systémem, který by kontroloval shodnost výrobku, a na posledním stanovišti by finální pouzdro zpoždovače padalo na dopravní pás, který by jej dopravil do přichystaných beden. Výrobce stroje uvádí, že čas na obrobení pouzdra zpoždovače do délky 21 mm je stroj schopen vyrobit za  $2,3 \pm 10$  % s, což je přibližně 26 kusů za minutu. U délek větších je čas potřebný na výrobu jednoho kusu pouzdra zpoždovače  $2,5 \pm 10$  % s, což je přibližně 24 kusů za minutu. Celková cena stroje i s příslušenstvím a nástroji je 577800 CHF.

#### 4.6 Technologie výroby soustružením na stroji Wolf TSM 280<sup>13</sup>

Tento stroj německé firmy Wolf Maschinenbau AG, která byla založena v roce 2002 v městě Brackenheim-Hausen, je opět vertikální krokový automatický soustruh. Otočný stůl (obr. 18) je vybaven osmi pozicemi, na kterých může probíhat obrábění po obou stranách polotovaru. Operace, které se mohou provádět na jednotlivých pozicích, jsou například řezání, soustružení, vrtání, frézování, vystružování, vyhrubování, řezání závitů atd.

Obr. 18 Systém obrábění n stroji Wolf TSM 280<sup>13</sup>

Wolf TSM 280 (obr. 19) je schopen upnout kruhový polotovaru o maximálním průměru 13 mm a délce 80 mm. Hydraulické upínání polotovarů je schopné vyvodit upínací sílu 25 kN. Stroj je také vybaven odvíječkou materiálu a také rovnacím zařízením. Přesná délka polotovaru je zajištěna přesným hydraulicky nastavitelným dorazem na první pozici.

Obr. 19 Wolf TSM 280<sup>24</sup>

Výroba součástky pouzdro zpoždovače by na tomto stroji probíhala tak, že na první pozici by byl přiveden narovnaný materiál odvinutý z cívky. Tento materiál by byl zaražen o přesně nastavený hydraulický doraz a následně by došlo k upnutí materiálu a jeho uříznutí pomocí kotoučové pily. Po přesunutí na druhou pozici by došlo k osoustružení obou vnějších sražení současně. Na třetí pozici by bylo prováděno navrtávání středících důlků na každé straně polotovaru současně. Následně na pozici číslo 4 by bylo provedeno vrtání z jedné strany v předem stanovené délce. K úplnému provrtání otvoru skrz pouzdro zpoždovače by došlo na pozici číslo 5, kde by se vrtal otvor z druhé strany polotovaru. Na šesté pozici by se vyrobilo vnitřní sražení na obou koncích polotovaru. Na sedmé pozici by se zarovnala čela na určenou celkovou délku. Na osmé by mohlo být zařízení pro kontrolu rozměrů výrobku a došlo by k upuštění hotového výrobku na skluz, ze kterého by pouzdra padala do nachystané bedny. Výrobce stroje se zaručuje, že přibližný čas potřebný pro výrobu jednoho pouzdra zpoždovače je 1,714 s bez ohledu na jeho stupeň. To znamená, že stroj Wolf TSM 280 je schopen vyrobít přibližně 35 pouzder zpoždovače za minutu. Celková cena stroje zahrnující veškeré upínací systémy a nástroje, odvíjecí zařízení a rovnačku materiálu je 302654 €.

## 5 KOMPLETNÍ TECHNOLOGICKÁ PŘÍPRAVA VÝROBY

### 5.1 Řezné podmínky jednotlivých operací<sup>14</sup>

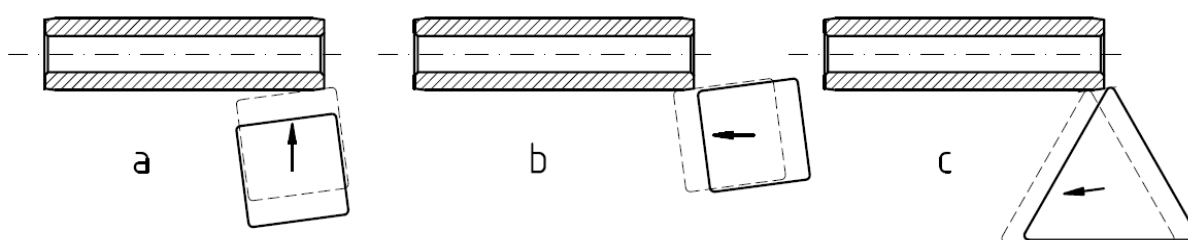
Řezné podmínky jsou souhrn činitelů, které ovlivňují průběh obrábění. Mezi základní řezné podmínky patří řezná rychlost  $v_c$ , posuv  $f_n$  a hloubka řezu  $a_p$ . Tyto podmínky se musí volit tak, aby bylo obrábění co nejefektivnější nebo aby splňovalo předem dané podmínky, jako jsou například přesnost či jakost obrobené plochy. Řezné podmínky jsou nedílnou součástí technologické přípravy výroby.

#### 5.1.1 Řezné podmínky při vrtání<sup>8</sup>

Řezné podmínky byly určeny v kapitole 3.2.2, kde se došlo k výsledkům, že optimální řezná rychlost při vrtání vrtákem R840-0320-50-A0A, jehož průměr je 3,2 mm a tvrdost materiálu 203,5 HB, je  $108 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ . Optimální posuv při vrtání otvoru je  $0,2 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}$ . Strojní čas potřebný pro vyvrtání průchozího otvoru v jednotlivých stupních pouzder zpoždovačů a při zvolených řezných podmínkách se pohybuje v rozmezí 0,279-1,36 s.

#### 5.1.2 Řezné podmínky pro soustružení vnějšího sražení<sup>8</sup>

Sražení je možné vyrábět dvěma způsoby. První způsob je, že by se obrábělo čtvercovou destičkou, která by se buď upnula do speciálního držáku, který by zaručil, že úhel nastavení hlavního ostří by byl  $82,5^\circ$ , nebo by se použil normalizovaný držák, který by se vypočítal klínovými podložkami tak, že by úhel nastavení hlavního ostří byl opět  $82,5^\circ$ . Tímto nástrojem by se poté obrábělo buď ke středu polotovaru (obr. 20-a), nebo rovnoběžně s osou polotovaru (obr. 20-b). Posuv ke středu polotovaru je výhodnější z důvodu menší dráhy nástroje. Další způsob jak obrábět dané sražení je, že by se použila destička trojúhelníková, jejíž špička by se pohybovala v obou osách současně, čímž by vyrobila dané sražení (obr. 20-c). U tohoto způsobu by ovšem byla nejdelší dráha nástroje, protože by se pohyboval po přeponě pravoúhlého trojúhelníka. Z toho vyplývá, že nejvhodnější variantou je využití posuvu směrem ke středu polotovaru s vychýleným nástrojem, protože dráha nástroje je nejmenší, a tudíž i strojní čas bude nejmenší.



Obr. 20 Možnosti soustružení sražení

Pro obrábění vnějšího sražení volím břitovou destičku ze slinutého karbidu z katalogu firmy Sandvik Coromant, která má označení SNMG090304-PM. Jedná se o břitovou destičku čtvercového tvaru s nulovým úhlem hřbetu. Destička má délku řezné hrany 9 mm, tloušťku 3 mm a rádius špičky  $r_e=0,4$  mm. Doporučená řezná rychlost pro tuto břitovou destičku je  $v_c=230 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ , doporučený posuv je  $f_n=0,2 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}$  a doporučená hloubka řezu je  $a_p=2$  mm. Vzhledem k tvrdosti materiálu 203,5 HB se musí řezná rychlost opět násobit koeficientem 0,9. Po této úpravě bude řezná rychlost  $v_c=207 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ . Břitová destička je určena pro střední obrábění oceli s univerzálním svářečem třísek. Tímto zajišťuje bezproblémové a vysoce produktivní obrábění oceli.

Úpravou vzorců (7) a (8) se získá výsledný vztah pro celkový strojní čas (22). Z definice goniometrické funkce tangens je zřejmé, že délka, kdy bude břitová destička v záběru, je rovna  $\text{tg}7,5^\circ$ . Ovšem celková dráha nástroje musí být navýšena o délku náběhu, což je 1 mm.

$$t_s = \frac{\pi \cdot D \cdot L_c}{1000 \cdot f_n \cdot v_c} \quad (22)$$

kde:  $D$  [mm] - vnější průměr polotovaru  
 $L_c$  [mm] - celková délka obrábění  
 $f_n$  [mm·ot<sup>-1</sup>] - posuv  
 $t_s$  [min] - strojní čas  
 $v_c$  [m·min<sup>-1</sup>] - řezná rychlost

Dle vzorce (22) se vypočte strojní čas potřebný pro obrobení vnějšího sražení:

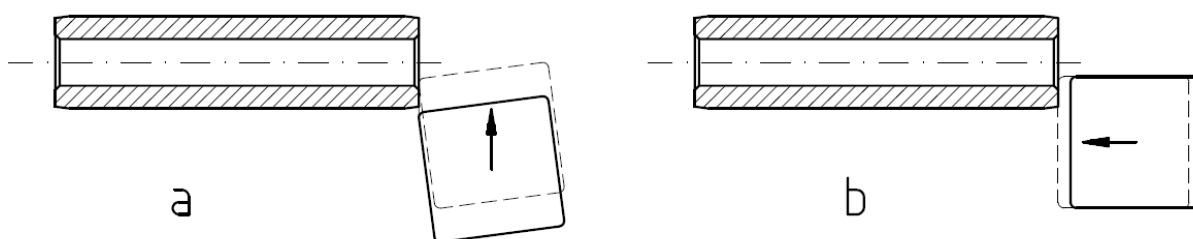
$$t_s = \frac{\pi \cdot D \cdot L_c}{1000 \cdot f_n \cdot v_c} = \frac{\pi \cdot 6,5 \cdot (\text{tg}7,5^\circ + 1)}{1000 \cdot 0,2 \cdot 207} = 0,000558 \text{ min}$$

Strojní čas pro obrobení vnějšího sražení je 0,000558 min, což je 0,034 s.

### 5.1.3 Řezné podmínky pro soustružení čela <sup>8</sup>

Při obrábění čela bude použita stejná destička jako v případě obrábění vnějšího sražení, a to destička s označením SNMG090304-PM, jejíž doporučená řezná rychlost je  $v_c=230 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  a doporučený posuv je  $f_n=0,2 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}$ . Vzhledem k tvrdosti materiálu 203,5 HB se musí řezná rychlost opět násobit koeficientem 0,9. Po této úpravě bude řezná rychlost  $v_c=207 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ . Opět je k dispozici více řešení směru posuvu. První způsob je ten, že se nástroj pohybuje ve směru ke středu polotovaru (obr. 21-a), druhý způsob je ten, že nástroj se pohybuje ve směru rovnoběžném s osou obrobku (obr. 21-b). Vzhledem ke kratší dráze nástroje je výhodnější využít posuv nástroje ve směru rovnoběžném s osou obrobku, čímž se minimalizuje strojní čas potřebný na opracování čela obrobku.





Obr. 21 Možnosti soustružení čela obrobku

Z každé strany se bude obrábět 0,5 mm, přičemž směrodatná bude konečná délka obrobku, která musí splňovat předepsané parametry. Délka náběhu bude 1 mm.

Dle vzorce (22) se vypočte strojní čas potřebný pro obrobení čela obrobku:

$$t_s = \frac{\pi \cdot D \cdot L_c}{1000 \cdot f_n \cdot v_c} = \frac{\pi \cdot 6,5 \cdot (0,5 + 1)}{1000 \cdot 0,2 \cdot 207} = 0,00074 \text{ min}$$

Strojní čas pro obrobení vnějšího sražení je 0,00074 min, což je 0,044 s.

#### 5.1.4 Řezné podmínky pro dělení materiálu

Pro dělení materiálu se bude využívat upichovací nůž vyrobený ze slinutého karbidu ve formě oboustranné břitové destičky. Tuto destičku má v sortimentu výrobce břitových destiček Sandvik Coromant. Geometrie s označením CR je určena pro vysoce produktivní upichování tyčí. Břit je dostatečně pevný, a proto umožňuje obrábět za vysokého posuvu, což zajišťuje vysokou produktivitu obrábění. Břitová destička má označení N123F2-0250-0003-CR. Doporučený posuv pro tento nástroj je  $0,19 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}$ . Řezná rychlost by se měla pohybovat okolo  $120 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ .

#### 5.1.5 Řezné podmínky pro navrtání středicích důlků

Pro navrtání středicího otvoru bude použit NC středicí vrták  $90^\circ$  SK TiAlN 1,0x38 (obr. 22), jehož průměr je 1 mm a délka 38 mm. Navrtání bude probíhat do délky 1 mm a to tak, aby čas navrtávání nepřesáhl čas vrtání otvoru. Navrtávání bude probíhat z obou stran současně. Posuv je volen  $0,1 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}$ . Řezná rychlost bude dopočítána s ohledem na čas vrtání zvlášť u jednotlivých stupňů rozbušek.

Obr. 22 NC středicí vrták  $90^\circ$  SK TiAlN 1,0x38<sup>25</sup>

## 5.2 Úprava řezných podmínek

Z předešlých výpočtů vyplývá, že jednoznačně nejvíce časově náročná operace je operace vrtání. Tato operace zabere při daných řezných podmínkách několikanásobně více času než je tomu například u soustružení sražení. Jelikož součástka bude vyráběna na krokovém stroji, tak celkový čas potřebný na výrobu součásti bude roven času operace, která bude nejvíce



časově náročná. V tomto případě to bude čas potřebný pro vrtání navýšený o dobu přesunu mezi jednotlivými operačními stanovišti.

Jelikož průměr polotovaru je malý (6,5 mm), tak při využití řezné rychlosti doporučené v katalogu je zapotřebí vysokých otáček. Tato hodnota se pohybuje i nad  $10000 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$ . Stroj je sice konstruován i na vyšší otáčky, ale i přesto je zbytečné tyto možnosti stroje využívat, jelikož po obrobení při této rychlosti stroj stejně bude stát a čekat, až proběhne operace vrtání. Proto je výhodnější otáčky, respektive řeznou rychlost snížit tak, aby strojní čas byl jen o malou hodnotu nižší, než je strojní čas při operaci vrtání. Snížením řezné rychlosti se také prodlouží trvanlivost nástroje, což je další pozitivní vliv této úpravy.

### 5.2.1 Úprava řezných podmínek při soustružení

Vrtání otvoru v pouzdru zpoždovače je u všech stupňů rozbušek rozděleno do dvou operací. Dráha nástroje se tedy skládá z poloviny délky pouzdra zpoždovače, která je navýšena o 1 mm přídatku na obrábění. Tento materiál bude odstraněn obráběním čel obrobku. Dále se celková délka navyšuje o délku nájezdu a délku přejezdu. Délka nájezdu je 1 mm a délka přejezdu je 2 mm pro všechny stupně rozbušek.

Níže je výpočet pouze pro pouzdro zpoždovače pro rozbušku prvního stupně. Výpočty pro ostatní stupně rozbušek jsou v příloze 3 a vypočtené hodnoty jsou zobrazeny v tabulce 7.

Úpravou vzorců (7), (8) a (9) se získá vztah (23), dle kterého se vypočte strojní čas potřebný na jednu vrtací operaci. Poté úpravou vzorce (22) se získá vzorec (24), dle kterého se následně vypočte přibližná řezná rychlost pro obrobení stažení a čela obrobku. Řezná rychlost se navýší o 10 % a zaokrouhlí na nejbližší číslo dělitelné pěti. Tato řezná rychlost bude poté použita při obrábění jednotlivých částí pouzdra zpoždovače. Zároveň se sníží také posuv na hodnotu  $0,1 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}$ . Tato úprava zmenší plochu třísky a tím se také sníží velikost řezného výkonu při soustružení.

$$t_s = \frac{\pi \cdot d \cdot \left( \frac{l_{pz} + 1}{2} + l_n + l_p \right)}{1000 \cdot f_n \cdot v_c} \quad (23)$$

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot L_c}{1000 \cdot f_n \cdot t_s} \quad (24)$$

kde:	D [mm]	-	vnější průměr polotovaru
	$L_c$ [mm]	-	celková délka obrábění
	d [mm]	-	vnitřní průměr pouzdra zpoždovače (trubky)
	$f_n$ [ $\text{mm} \cdot \text{ot}^{-1}$ ]	-	posuv
	$l_n$ [mm]	-	délka náběhu
	$l_p$ [mm]	-	délka přeběhu
	$l_{pz}$ [mm]	-	délka pouzdra zpoždovače
	$t_s$ [min]	-	strojní čas
	$v_c$ [ $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ ]	-	řezná rychlost

Strojní čas potřebný pro jednu vrtací operaci u pouzdra zpoždovače rozbušky 1. stupně:

$$t_s = \frac{\pi \cdot d \cdot \left( \frac{l_{pz} + 1}{2} + l_n + l_p \right)}{1000 \cdot f_n \cdot v_c} = \frac{\pi \cdot 3,2 \cdot \left( \frac{7 + 1}{2} + 1 + 2 \right)}{1000 \cdot 0,2 \cdot 90} = 0,00391 \text{ min}$$

Strojní čas pro operaci vrtání otvoru je 0,00391 min, což je 0,235 s.

Řezná rychlost pro soustružení vnějšího sražení:

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot L_c}{1000 \cdot f_n \cdot t_s} = \frac{\pi \cdot 6,5 \cdot (tg 7,5^\circ + 1)}{1000 \cdot 0,1 \cdot 0,00391} = 59,1 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

Zvolená řezná rychlost je po navýšení o 10 % a zaokrouhlení rovna  $65 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ .

Řezná rychlost pro soustružení čela:

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot L_c}{1000 \cdot f_n \cdot t_s} = \frac{\pi \cdot 6,5 \cdot (0,5 + 1)}{1000 \cdot 0,1 \cdot 0,00391} = 78,3 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

Zvolená řezná rychlost je po navýšení o 10 % a zaokrouhlení rovna  $85 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ .

Následně se přepočítají strojní časy dle vztahu (22) pro jednotlivé operace soustružení při nových řezných rychlostech a posuvech. Vzhledem k velmi malým hodnotám strojního času je tento čas uveden také v sekundách.

Strojní čas potřebný pro soustružení sražení:

$$t_s = \frac{\pi \cdot D \cdot L_c}{1000 \cdot f_n \cdot v_c} = \frac{\pi \cdot 6,5 \cdot (tg 7,5^\circ + 1)}{1000 \cdot 0,1 \cdot 65} = 0,00356 \text{ min}$$

Strojní čas pro obrobení vnějšího sražení je 0,00356 min, což je 0,213 s.

Strojní čas potřebný pro soustružení čela:

$$t_s = \frac{\pi \cdot D \cdot L_c}{1000 \cdot f_n \cdot v_c} = \frac{\pi \cdot 6,5 \cdot (0,5 + 1)}{1000 \cdot 0,1 \cdot 85} = 0,00360 \text{ min}$$

Strojní čas pro obrobení vnějšího sražení je 0,00360 min, což je 0,216 s.

Tab 7. Řezné rychlosti a strojní časy pro soustružení jednotlivých pouzder zpoždovače

Stupeň	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$t_s$ -vrtání [s]	0,235	0,268	0,302	0,335	0,369	0,402	0,436	0,469	0,503
$v_c$ -sražení [ $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ ]	65	55	50	45	40	40	35	35	30
$v_c$ -čelo [ $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ ]	85	75	70	60	55	50	45	45	40
$t_s$ -sražení [s]	0,213	0,252	0,277	0,308	0,347	0,347	0,396	0,396	0,462
$t_s$ -čelo [s]	0,216	0,245	0,263	0,306	0,334	0,368	0,408	0,408	0,459

Stupeň	10	11	12	13	14	15	16	17	18
$t_s$ -vrtání [s]	0,541	0,576	0,617	0,655	0,690	0,727	0,761	0,791	0,833
$v_c$ -sražení [m·min <sup>-1</sup> ]	30	25	25	25	25	20	20	20	20
$v_c$ -čelo [m·min <sup>-1</sup> ]	40	35	35	30	30	30	25	25	25
$t_s$ -sražení [s]	0,462	0,555	0,555	0,555	0,555	0,693	0,693	0,693	0,693
$t_s$ -čelo [s]	0,459	0,525	0,525	0,613	0,613	0,613	0,735	0,735	0,735

### 5.2.2 Úprava řezných podmínek pro řezání

Řezné podmínky se budou upravovat stejným způsobem, jak tomu bylo v případě soustružení sražení. Jako výchozí vztah bude vztah (24). Do tohoto vztahu se dosadí čas potřebný pro jednu vrtací operaci. Poté se řezná rychlost zaokrouhlí na nejbližší vyšší číslo dělitelné pěti. Z této vypočtené řezné rychlosti se poté zpětně vypočte strojní čas, který je potřeba pro jedno upíchnutí polotovaru (23). Celková délka řezání bude rovna polovině průměru materiálu navýšená o délku náběhu, což v tomto případě je 1 mm.

Následující výpočet je pouze pro pouzdro zpoždovače 1. stupně. Pro ostatní stupně jsou výpočty uvedeny v příloze č. 4. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 8. Vzhledem k velmi malým hodnotám je strojní čas uveden v sekundách.

Výpočet řezné rychlosti pro pouzdro zpoždovače rozbušky 1. stupně:

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot L_c}{1000 \cdot f_n \cdot t_s} = \frac{\pi \cdot 6,5 \cdot 4,25}{1000 \cdot 0,19 \cdot 0,00391} = 116,8 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

Použije se řezná rychlost  $v_c=120 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ .

Přepočet strojního času:

$$t_s = \frac{\pi \cdot D \cdot L_c}{1000 \cdot f_n \cdot v_c} = \frac{\pi \cdot 6,5 \cdot 4,25}{1000 \cdot 0,19 \cdot 120} = 0,00381 \text{ min}$$

Strojní čas řezání je 0,00381 min, což je 0,228 s.

Tab. 8 Řezné rychlosti a strojní časy pro řezání jednotlivých pouzder zpoždovače

Stupeň	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$t_s$ -vrtání [s]	0,235	0,268	0,302	0,335	0,369	0,402	0,436	0,469	0,503
$v_c$ [m·min <sup>-1</sup> ]	120	105	95	85	75	70	65	60	55
$t_s$ -řezání [s]	0,228	0,261	0,288	0,322	0,365	0,392	0,422	0,457	0,498
Stupeň	10	11	12	13	14	15	16	17	18
$t_s$ -vrtání [s]	0,541	0,576	0,617	0,655	0,690	0,727	0,761	0,791	0,833
$v_c$ [m·min <sup>-1</sup> ]	55	50	45	45	40	40	40	35	35
$t_s$ -řezání [s]	0,498	0,548	0,609	0,609	0,685	0,685	0,685	0,783	0,783

### 5.2.3 Úprava řezných podmínek pro navrtávání

Stejně jako v předešlé kapitole se bude počítat i zde strojní čas a řezná rychlost, a to tak, aby strojní čas byl menší nebo roven strojnímu času vrtací operace daného pouzdra zpoždovače. Při výpočtu řezné rychlosti se bude vycházet ze vztahu (24) a pro výpočet strojního času pak bude použit vzorec (23). Vhodnou úpravou těchto vztahů se dojde k následujícím vzorcům (25) a (26). Řezná rychlost bude vždy zaokrouhlena na nejbližší vyšší celé číslo. Její nízká hodnota je zapříčiněna malým průměrem středicího vrtáku.

$$v_c = \frac{60 \cdot \pi \cdot d_v(1 + l_n)}{1000 \cdot f_n \cdot t_s} \quad (25)$$

$$t_s = \frac{\pi \cdot d_v(1 + l_n)}{1000 \cdot f_n \cdot v_c} \quad (26)$$

kde:  $d_v$  [mm] - průměr středicího vrtáku  
 $f_n$  [mm·ot<sup>-1</sup>] - posuv  
 $l_n$  [mm] - délka náběhu  
 $n$  [ot·min<sup>-1</sup>] - otáčky  
 $t_s$  [min] - strojní čas  
 $v_c$  [m·min<sup>-1</sup>] - řezná rychlost

Následující výpočet je pouze pro pouzdro zpoždovače 1. stupně. Pro ostatní stupně jsou výpočty uvedeny v příloze č. 5. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 9. Vzhledem k velmi malým hodnotám je strojní čas uveden v sekundách.

Výpočet řezné rychlosti pro pouzdro zpoždovače rozbušky 1. stupně:

$$v_c = \frac{60 \cdot \pi \cdot d_v(1 + l_n)}{1000 \cdot f_n \cdot t_s} = \frac{60 \cdot \pi \cdot 1(1 + 0,5)}{1000 \cdot 0,1 \cdot 0,235} = 12,03 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

Použije se řezná rychlost  $v_c=13 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ .

Přepočet strojního času:

$$t_s = \frac{\pi \cdot d_v(1 + l_n)}{1000 \cdot f_n \cdot v_c} = \frac{\pi \cdot 1(1 + 0,5)}{1000 \cdot 0,1 \cdot 13} = 0,00362 \text{ min}$$

Strojní čas navrtávání je 0,00362 min, což je 0,217 s.

Tab.9 Řezné rychlosti a strojní časy pro navrtávání středicích důlků

Stupeň	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$t_s$ -vrtání [s]	0,235	0,268	0,302	0,335	0,369	0,402	0,436	0,469	0,503
$v_c$ [m·min <sup>-1</sup> ]	13	11	10	9	8	8	7	7	6
$t_s$ -navrt. [s]	0,217	0,257	0,283	0,314	0,353	0,353	0,404	0,404	0,471
Stupeň	10	11	12	13	14	15	16	17	18
$t_s$ -vrtání [s]	0,541	0,576	0,617	0,655	0,690	0,727	0,761	0,791	0,833
$v_c$ [m·min <sup>-1</sup> ]	6	5	5	5	5	4	4	4	4
$t_s$ -navrt. [s]	0,471	0,565	0,565	0,565	0,565	0,707	0,707	0,707	0,707

### 5.2.4 Úprava řezných podmínek pro vrtání vnitřního sražení

Vnitřní sražení je tak malé, že je možné dovolit si stejné řezné podmínky pro všechny stupně pouzder zpoždovačů. Sražení je ovšem navrženo pod úhlem  $45^\circ$ , to znamená, že nelze použít běžný vrták, který má vrcholový úhel  $120^\circ$ . Může se ovšem využít stejný typ středicího vrtáku, jako tomu bylo v případě navrtávání středících otvorů, protože tento středicí vrták má vrcholový úhel  $90^\circ$ . Z tohoto hlediska vyhovuje středicí vrták s označením NC středicí vrták  $90^\circ$  SK TiAlN 4,0x46, jehož průměr je 4 mm a délka 46 mm. Řezné podmínky se opět vypočítají tak, aby strojní čas na obrobení nepřekročil strojní čas u vrtací operace každého stupně pouzder zpoždovačů.

Při výpočtu se použijí stejné vzorce jako při výpočtu řezných podmínek při navrtávání středicího otvoru (28) a (29). Délka náběhu se musí volit vyšší, aby při přemísťování obrobku na jinou pozici nedošlo k zavadění o špičku vrtáku. Z tohoto důvodu je délka náběhu volena 2,5 mm. Posuv je volen  $0,2 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}$ .

Níže je výpočet pouze pro 1. stupeň. Pro ostatní stupně je výpočet uveden v příloze č. 6 a v tabulce 10 jsou uvedeny vypočtené hodnoty. Vzhledem k velmi malým strojním časům jsou tyto časy uvedeny v sekundách.

Výpočet řezné rychlosti pro pouzdro zpoždovače rozbušky 1. stupně:

$$v_c = \frac{60 \cdot \pi \cdot d_v(0,3 + l_n)}{1000 \cdot f_n \cdot t_s} = \frac{60 \cdot \pi \cdot 4(0,3 + 2,5)}{1000 \cdot 0,2 \cdot 0,235} = 44,9 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

Použije se řezná rychlost  $v_c = 50 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ .

Přepočet strojního času:

$$t_s = \frac{\pi \cdot d_v(0,3 + l_n)}{1000 \cdot f_n \cdot v_c} = \frac{\pi \cdot 4(0,3 + 2,5)}{1000 \cdot 0,2 \cdot 50} = 0,00352 \text{ min}$$

Strojní čas navrtávání je 0,00352 min, což je 0,211 s.

Tab. 10 Řezné rychlosti a strojní časy pro vrtání sražení

Stupeň	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$t_s$ -vrtání [s]	0,235	0,268	0,302	0,335	0,369	0,402	0,436	0,469	0,503
$v_c$ [ $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ ]	45	40	40	35	30	30	25	25	25
$t_s$ -sražení [s]	0,211	0,264	0,264	0,302	0,352	0,352	0,422	0,422	0,422
Stupeň	10	11	12	13	14	15	16	17	18
$t_s$ -vrtání [s]	0,541	0,576	0,617	0,655	0,690	0,727	0,761	0,791	0,833
$v_c$ [ $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ ]	20	19	18	17	16	15	15	14	14
$t_s$ -sražení [s]	0,528	0,556	0,586	0,621	0,659	0,704	0,704	0,754	0,754

### 5.3 Výrobní postup<sup>15, 16</sup>

Výrobní postup je vedle výrobního výkresu jednou z nejdůležitějších částí technické dokumentace. Je to dokument, který jednoznačně určuje postup výroby. Má za úkol zajistit opakovatelnost a stejnou kvalitu při výrobě dané součásti. Zabraňuje vzniku hrubých zmetků nebo alespoň určuje viníka, který vpustil chybu. Součástí dobrého výrobního postupu jsou mimo jiné také strojní časy daných operací, označení stroje, na kterém bude daná operace probíhat nebo seznam nástrojů, kterými se bude daná operace realizovat. Propracovanost výrobního postupu se odvíjí od množství vyráběných kusů. Například při kusové výrobě může být výrobní postup sestaven pouze z informací, které jsou nutné k výrobě daného kusu. Jedná se například o stručný sled operací sepsaný na zadní straně výrobního výkresu. Naopak u sériové výroby už musí být výrobní postup propracovanější a měl by obsahovat co možná nejširší škálu informací o jednotlivých operacích prováděných při výrobě kusu. Jedná se už o oddělený dokument, který je propracován do detailů, jako jsou například pohyby rukou pracovníka při montáži.

Základní prvek výrobního postupu je operace. Jedná se o nepřetržitě prováděnou část výroby součásti, která je vykonávána na jednom pracovišti. Operace se vykonává na stejném druhu strojů. Jednotlivé operace se rozdělují na úseky. Úsek je část operace, která se provádí při přibližně stejných technologických podmínkách. Je to například hrubování nebo obrábění načisto. Úsek dále lze rozdělit na úkony. Úkon je jednoduchá ucelená pracovní činnost, která je organizačně neoddělitelná. Je to například upínání obrobku, zapnutí stroje nebo vlastní obrábění. Jednotlivé úkony se dále rozdělují na jednotlivé pohyby. Je to nejmenší část pracovní činnosti, která je ve výrobních postupech používána nejčastěji při popisu montáže. Snahou je, aby pohyby byly co nejjednodušší a nejkratší.

Níže jsou uvedeny výrobní postupy pro součástku pouzdro zpoždovače pouze pro stupeň rozbušky 1 a 18. Výrobní postup pro pouzdro zpoždovače rozbušky 1. stupně je uveden v tabulce 10 a výrobní postup pro pouzdro zpoždovače rozbušky stupně 18 je uveden v tabulce 11. Zbývající jsou uvedeny v příloze č. 7. Výrobní postup je sestaven tak, aby vyhovoval výrobě pouzdra zpoždovače na stroji Wolf TSM 280.

Jednotky u jednotlivých řezných podmínek jsou u řezné rychlosti  $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ , posuv je v jednotkách  $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$  a z důvodu velmi malého strojního času je tento čas uveden v sekundách a ne v minutách, jak bývá běžné.

Tab. 11 Výrobní postup pouzdra zpoždovače rozbušky stupně 1

Výrobní postup pro součást pouzdro zpoždovače rozbušky 1. stupně.							
Číslo operace	Stroj	Nástroj	Materiál nástroje	Popis práce	$v_c$	$f_n$	$t_s$
1	Wolf TSM 280	-	-	Rovnění drátu	-	-	-
2	Wolf TSM 280 pozice 1	-	-	Upnutí polotovaru	-	-	-
3	Wolf TSM 280 pozice 1	N123F2-0250-0003-CR	SK	Krácení materiálu na délku 8 mm	120	0,19	0,228
4	Wolf TSM 280 pozice 2	NC středící vrták 90° 1,0x38	SK	Navrtání středících důlků	13	0,1	0,217
5	Wolf TSM 280 pozice 3	R840-0320-50-A0A	HSS	Vrtání otvoru $\phi 3,2$ mm z pravé strany v délce 6 mm	90	0,2	0,235
6	Wolf TSM 280 pozice 4	R840-0320-50-A0A	HSS	Vrtání otvoru $\phi 3,2$ mm z levé strany v délce 6 mm	90	0,2	0,235
7	Wolf TSM 280 pozice 5	NC středící vrták 90° 4,0x38	SK	Vrtání vnitřních sražení v otvoru $0,3 \times 45^\circ \pm 15^\circ$	45	0,2	0,211
8	Wolf TSM 280 pozice 6	SNMG090304-PM	SK	Soustružení čel	85	0,1	0,216
9	Wolf TSM 280 pozice 7	SNMG090304-PM	SK	Soustružení vnějších sražení $1 \times 7,5^\circ$	65	0,1	0,213
10	Wolf TSM 280 pozice 8	-	-	Upuštění výrobku	-	-	-
11	Kontrola	Posuvné měřítko	-	Kontrolovat rozměr 7-0,1 mm	-	-	-

Tab. 12 Výrobní postup pouzdra zpoždovače rozbušky stupně 18

Výrobní postup pro součást pouzdro zpoždovače rozbušky 18. stupně.							
Číslo operace	Stroj	Nástroj	Materiál nástroje	Popis práce	$v_c$	$f_n$	$t_s$
1	Wolf TSM 280	-	-	Rovnění drátu	-	-	-
2	Wolf TSM 280 pozice 1	-	-	Upnutí polotovaru	-	-	-
3	Wolf TSM 280 pozice 1	N123F2-0250-0003-CR	SK	Krácení materiálu na délku 43,7 mm	35	0,19	0,783
4	Wolf TSM 280 pozice 2	NC středící vrták 90° 1,0x38	SK	Navrtání středících důlků	4	0,1	0,707
5	Wolf TSM 280 pozice 3	R840-0320-50-A0A	HSS	Vrtání otvoru $\phi 3,2$ mm z pravé strany v délce 23,5 mm	90	0,2	0,833
6	Wolf TSM 280 pozice 4	R840-0320-50-A0A	HSS	Vrtání otvoru $\phi 3,2$ mm z levé strany v délce 23,5 mm	90	0,2	0,833
7	Wolf TSM 280 pozice 5	NC středící vrták 90° 4,0x38	SK	Vrtání vnitřních sražení v otvoru $0,3 \times 45^\circ \pm 15^\circ$	14	0,2	0,754
8	Wolf TSM 280 pozice 6	SNMG090304-PM	SK	Soustružení čel	25	0,1	0,735
9	Wolf TSM 280 pozice 7	SNMG090304-PM	SK	Soustružení vnějších sražení $1 \times 7,5^\circ$	20	0,1	0,693
10	Wolf TSM 280 pozice 8	-	-	Upuštění výrobku	-	-	-
11	Kontrola	Posuvné měřítko	-	Kontrolovat rozměr 42,7-0,1 mm	-	-	-



## 6 TECHNICKO-EKONOMICKÉ HODNOCENÍ

Vzhledem k obrovským sériím, které jsou v případě pouzder zpoždovačů vyráběny, nemá význam zabývat se běžnými technologiemi výroby, jako je například soustružení na revolverovém soustruhu a tomuto podobné málo výkonné technologie. Proto je třeba se zabývat spíše automatickými soustružnickými centry, které dokážou vyrábět velké série výrobku s minimální obsluhou. Nevýhodou těchto center je jejich vysoká cena. Ovšem tato investice se brzy vrátí vzhledem k množství vyráběných kusů.

Proto zde bude porovnání pouze třech strojů ze skupiny automatických soustruhů, a to stroje Mikron NAM-8 CNC, Pfiffner HYDROMAT HW 25/12 a stroje Wolf TSM 280. Bližší informace o těchto strojích byly uvedeny v předešlém textu. V následující tabulce 13 je uvedeno zhodnocení všech těchto strojů dle informací, které podali jejich výrobci.

Tab. 13 Technicko-ekonomické porovnání strojů

Stroj	Cena stroje	Cena stroje [Kč]	Počet vyrobených kusů za minutu		
			Stupeň 1-10	Stupeň 11-16	Stupeň 17-18
Mikron NAM-8 CNC	1130000CHF	23 334 500	40	35	30
Pfiffner HYDROMAT HW 25/12	577800CHF	11 931 570	Stupeň 1-8		Stupeň 9-18
			26		24
Wolf TSM 280	302654€	7 520 952	Stupeň 1-18		
			35		

Ceny jsou přepočítány podle aktuálního kurzu k 2. 5. 2012, a sice v kurzu 1 CHF=20,65 Kč a 1 €=24,85 Kč.

Z tabulky je zřejmé, že s ohledem na počet vyrobených kusů je mezi stupni 1-10 nejvýkonnější stroj Micron NAM-8 CNC, ovšem v ostatních se mu minimálně vyrovná stroj Wolf TSM 280. Stroj Pfiffner HYDROMAT HW 25/12 za ostatními dvěma, z hlediska množství vyrobených kusů za minutu práce, zaostává. Z hlediska ceny je jednoznačně nejlepší stroj Wolf TSM 280, na druhém místě je stroj Pfiffner HYDROMAT HW 25/12 a nejdražší stroj je Micron NAM-8 CNC, který je více než třikrát dražší než stroj Wolf TSM 280.

S ohledem na předešlé skutečnosti je pro výrobu součástky pouzdro zpoždovače nejvýhodnější stroj Wolf TSM 280.

## 7 DISKUZE

Za daných podmínek výroby, jako je především její velkosériovost, byly navrženy optimální technologické postupy, pro každou délku pouzdra zpoždovače zvlášť. Rezné podmínky byly navrženy tak, aby stroj neměl zbytečné prostoje na jednotlivých stanovištích a výroba na stroji probíhala plynule. Ovšem konečné rezné podmínky či nástroje se určí až poté, co se otestují na novém stroji. Je to z toho důvodu, jelikož se musela v mnoha případech použít rezná rychlost hluboko pod doporučenou hranicí. Další důvod proč bylo třeba využít menších rezných rychlostí je ten, že průměr součástky je velice malý a při dodržení doporučených hodnot by značným způsobem narostly otáčky, což by vyvolalo další problém například s upínacím systémem nástroje. Důvod, proč je možné si toto snížení rezné rychlosti dovolit, je ten, že se za těchto podmínek obrábí malé plochy, které nemají na funkci součástky žádný vliv. To znamená, že případné problémy se špatnou jakostí povrchu nezapříčiní zvýšený výskyt neshodných výrobků ve výrobě. Snahou tedy bude najít vyhovující nástroj, který bude schopen obrábět danou součást za předem stanovených rezných podmínek.

## ZÁVĚR

Závěrečným výstupem práce je určení nejvhodnějšího stroje pro výrobu součástky pouzdro zpoždovače. Bylo voleno mezi soustružnickými krokovými automaty třech firem. A to stroji Micron NAM-8 CNC, Pfiffner HYDROMAT HW 25/12 a Wolf TSM 280. Všechny tyto stroje jsou schopny součástku vyrobit v relativně krátkém čase. Jejich výrobnost se pohybuje mezi 24-40 kusy za minutu. Z hlediska poměru cena - výkon je jednoznačně nejvýhodnější stroj Wolf TSM 280, který je více než třikrát levnější než soustruh firmy Micron a je schopen vyrobit průměrně o 10 kusů za minutu víc než soustruh firmy Pfiffner.

Dalším výstupem práce jsou výrobní postupy, podle kterých se začne testovat výroba součástky. Jak již bylo řečeno, tyto podmínky nejsou konečné, jsou pouze určeny pro prvotní nastavení stroje a pro první otestování výroby. Jejich úprava, zvláště co se nástrojů týče, je však nevyhnutelná. Tyto úpravy se však budou konat, až bude stroj Wolf TSM 280 k dispozici. V celé práci byly použity poznatky a interní informace firmy Austin Detonator Vsetín.

**SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ**

1. KOLEKTIV AUTORŮ. *Speciální technika: I. díl*. 1. vyd. Brno: GŘt ZVS Brno, 1976. 543 s. ISBN 59-154-75.
2. DOJČÁR, O., J. HORKÝ a R. KOŘÍNEK. *Trhacia technika*. Ostrava: Montanex, a. s., 1996. 421 s. ISBN 80-857-8069-0.
3. MINISTERSTVO NÁRODNÍ OBRANY. *Trhaviny a ničení*. 1. vyd. Praha, 1982.
4. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
5. HUMÁR, Anton. *Technologie 1 - Technologie obrábění - 1. část* [online]. Brno, 2003. [cit. 2012-05-07]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI\\_TO-1cast.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf)
6. TATÍČEK, František, Martin KUBELKA a Tomáš PILVOUSEK. Akademie tváření: Technologičnost konstrukce v návrhu výstřížků. *MM Průmyslové spektrum*. 2011. roč. 2011. č. 12. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-technologiconst-konstrukce-v-navrhu-vystrizku.html>
7. ZEMČÍK, Oskar. Technologické procesy: Část obrábění. In: [online]. [cit. 2012-05-07]. Dostupné z: <http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TechnProcesy.pdf>
8. SANDVIK COROMANT, Sandviken, Sveden. *CoroKey*. 2005. 8. C-2903:8 CZE/01
9. ŘASA, Jaroslav a Vladimír GABRIEL. *Strojírenská technologie 3 - 1. díl: Metody, stroje a nástroje pro obrábění*. 2. vyd. Praha: Scientia, 2005. 256 s. ISBN 80-718-3337-1.
10. DOKOUPIL, Vladimír a Jan HUDEC. Stavebnicové a rekonfigurovatelné stroje, nepružné výrobní systémy a linky. Dostupné z: [http://www.czspos.cz/akce/20100225.emo2009/08\\_stavebnicove\\_a\\_rekonfigurovateln\\_e\\_stroje.pdf](http://www.czspos.cz/akce/20100225.emo2009/08_stavebnicove_a_rekonfigurovateln_e_stroje.pdf)
11. PFIFFNER PRECISE SOLUTIONS. *Precise, Modular, Efficiet: Pfiffner Rotary Transfer machines* [online]. Switzerland [cit. 2012-05-07]. Dostupné z: [http://www.pfiffner.com/cms/upload/pdf/download/Produkte/Hydromat\\_overview\\_2011\\_en.pdf](http://www.pfiffner.com/cms/upload/pdf/download/Produkte/Hydromat_overview_2011_en.pdf)
12. PFIFFNER PRECISE SOLUTIONS. *Pfiffner Hydromat HW25/12,: Flexible Rotary Transfer machines* [online]. Switzerland [cit. 2012-05-07]. Dostupné z: [http://www.pfiffner.com/cms/upload/pdf/download/Produkte/Brochure\\_HW\\_2006\\_en.pdf](http://www.pfiffner.com/cms/upload/pdf/download/Produkte/Brochure_HW_2006_en.pdf)
13. WOLF. *TSM 280: Rotary table transfer machine* [online]. Switzerland [cit. 2012-05-07]. Dostupné z: [http://www.valtec.ch/eng/pdf/Wolf\\_TSM280\\_E.pdf](http://www.valtec.ch/eng/pdf/Wolf_TSM280_E.pdf)

14. Strojírenství - frézování. [online]. [cit. 2012-05-09]. Dostupné z: <http://strojirenstvi-frezovani.blogspot.com/2011/03/11-rezne-podminky.html>
15. SLAVÍK, Vladimír. *Návod na tvorbu výrobního postupu* [online]. Praha [cit. 2012-05-09]. Dostupné z: [http://u12134.fsid.cvut.cz/podklady/TE2/navod\\_vp.pdf](http://u12134.fsid.cvut.cz/podklady/TE2/navod_vp.pdf)
16. Strojírenství pro střední školy. [online]. [cit. 2012-05-09]. Dostupné z: <http://strojirenstvi-ucivo.blogspot.com/2011/03/3171-cleneni-vyrobnich-postupu.html>
17. Časovací zápalnice opředená. MILITIAE CAELESTIS GROUP. [online]. [cit. 2012-05-09]. Dostupné z: [http://militiae-caelestis.nabizi.cz/casovaci-zapalnice-opredena-1m\\_p30090/](http://militiae-caelestis.nabizi.cz/casovaci-zapalnice-opredena-1m_p30090/)
18. Trhací práce. [online]. [cit. 2012-05-09]. Dostupné z: <http://www.hornictvi.info/prirucka/technika/odstrely.htm>
19. Palník. OHŇOSTROJE SERVIS. [online]. [cit. 2012-05-09]. Dostupné z: <http://www.ohnostroje-servis.cz/technologie/druhy-pyrotechniky/palnik>
20. File:Nalleja.jpg. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2012-05-09]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Nalleja.jpg>
21. Strojový park. KOVOKOUSAL. [online]. [cit. 2012-05-09]. Dostupné z: <http://www.kovokousal.cz/index.php?s=12-strojovy-park>
22. Mikron NAM cnc machine tool, machine system. ALIBABA. [online]. [cit. 2012-05-09]. Dostupné z: [http://www.alibaba.com/product-tp/105966753/Mikron\\_NAM\\_cnc\\_machine\\_tool\\_machine.html](http://www.alibaba.com/product-tp/105966753/Mikron_NAM_cnc_machine_tool_machine.html)
23. Hydromat HW. PFIFFNER. [online]. [cit. 2012-05-09]. Dostupné z: <http://www.pfiffner.com/deutsch/produkte/rundtaktmaschinen/hydromat-hw.html>
24. CNC rotary transfer machine. DIRECT INDUSTRY. [online]. [cit. 2012-05-09]. Dostupné z: <http://www.directindustry.com/prod/wolf-maschinenbau-ag/cnc-rotary-transfer-machines-62654-406483.html>
25. NC navrtávák 90° SK TiAlN DxL 0,5x38. I - ZÁVITNÍKY. [online]. [cit. 2012-05-09]. Dostupné z: <http://www.i-zavitniky.cz/i-zavitniky/eshop/53-1-Navrtavaky-HSS-HSSCo-a-SK/1410-3-SK-tvrdokov/5/15964-NC-navrtavak-90-SK-TiAlN-DxL-0-5x38/description#anch1>

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Jednotka	Popis
<b>HB</b>	[-]	tvrdost dle Brinella
<b>HSS</b>	[-]	rychlořezná ocel
<b>SK</b>	[-]	slinutý karbid

Symbol	Jednotka	Popis
<b>A<sub>D</sub></b>	mm <sup>2</sup>	průřez třísky pro vrtání
<b>C</b>	Kč	cena kilogramu daného polotovaru
<b>D</b>	m; mm	vnější průměr polotovaru
<b>F<sub>c</sub></b>	N	řezná síla
<b>F<sub>f</sub></b>	N	posuvová síla
<b>F<sub>p</sub></b>	N	pasivní síla
<b>L</b>	m	celková délka polotovaru připadající na jeden přířez
<b>L<sub>c</sub></b>	mm	celková délka obrábění
<b>M<sub>c</sub></b>	Nmm	krouticí moment k ose vrtáku
<b>V</b>	m <sup>3</sup>	objem
<b>P<sub>c</sub></b>	kW	řezný výkon při vrtání
<b>c</b>	Kč	cena materiálu spotřebovaného na jeden vyrobený kus
<b>d</b>	m; mm	vnitřní průměr pouzdra zpoždovače (trubky)
<b>d<sub>v</sub></b>	mm	průměr středícího vrtáku
<b>f<sub>n</sub></b>	mm·ot <sup>-1</sup>	posuv
<b>i</b>	ks	počet kusů vyrobených z jednoho kilogramu daného polotovaru
<b>k<sub>c</sub></b>	MPa	měrný řezný odpor materiálu
<b>l</b>	m	délka kilogramu daného polotovaru
<b>l<sub>n</sub></b>	mm	délka náběhu
<b>l<sub>p</sub></b>	mm	délka přeběhu
<b>l<sub>pz</sub></b>	mm	délka pouzdra zpoždovače
<b>m</b>	kg	hmotnost

Symbol	Jednotka	Popis
<b>n</b>	ot·min <sup>-1</sup>	otáčky
<b>t<sub>s</sub></b>	min	strojní čas
<b>v<sub>c</sub></b>	m·min <sup>-1</sup>	řezná rychlost
<b>ρ</b>	kg·m <sup>-3</sup>	hustota

**SEZNAM PŘÍLOH**

Příloha 1	Výpočet optimální formy polotovaru
Příloha 2	Výpočet strojního času vrtání
Příloha 3	Výpočet řezných podmínek při soustružení
Příloha 4	Výpočet řezných podmínek při dělení materiálu
Příloha 5	Výpočet řezných podmínek při vrtání středících důlků
Příloha 6	Výpočet řezných podmínek při vrtání sražení
Příloha 7	Výrobní postupy



